

21 апреля

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Главный редактор академик А. И. ОПАРИН

НОВАЯ СЕРИЯ

22-й ГОД ИЗДАНИЯ

1954

ТОМ ХСV, № 6

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- М. М. Джрбашян. Об одном новом интегральном преобразовании и его применении в теории целых функций 1133
- М. А. Крейнс и Н. Д. Айзенштат. О возможности номографирования с точностью до малых высшего порядка 1137
- Б. И. Плоткин. Структурные изоморфизмы разрешимых R -групп 1141
- Б. М. Уразбаев. Асимптотическая формула для роста числа абелевых полей степени l^2 1145
- А. И. Фет. Обобщение теоремы Люстерника — Шнирельмана о покрытиях сфер и некоторых связанных с ней теорем 1149
- С. В. Яблонский. О функциональной полноте в трехзначном исчислении . . 1153

АСТРОНОМИЯ

- С. Б. Пикельнер. Исследование волокнистых туманностей 1157

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А. А. Киселев и О. А. Ладыженская. О решении линеаризованных уравнений плоского нестационарного течения вязкой несжимаемой жидкости 1161

ФИЗИКА

- М. А. Блохин. Влияние температуры и фазовых превращений на рентгеновский K -спектр поглощения титана в титанатах бария и свинца . . 1165
- В. Ш. Камалян. Переходный эффект π -мезонов, рожденных в свинце нейтральной компонентой космического излучения 1169
- В. М. Клечковский. О зависимости между Z и числом s -, p -, d - и f -электронов в атоме 1173
- Академик Л. Д. Ландау, А. А. Абрикосов и И. М. Халатников. Асимптотическое выражение для гриновской функции фотона в квантовой электродинамике 1177

- Г. П. Старцев. Трехлучевой интерферометр для исследования аномальной дисперсии 1

ГЕОФИЗИКА

- Академик В. В. Шулейкин. Кинематика предельно-крутых волн 1

БИОФИЗИКА

- Г. Н. Раутиан и В. П. Соловьева. Влияние яркостного уровня на остроту цветоразличения 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А. В. Гапонов и М. Л. Левин. К теории тонких антенн в эндовибраторах 11
М. Е. Жаботинский и Д. А. Лисичкин. Кварцевые генераторы с отрицательной обратной связью и инерционной нелинейностью 11
В. А. Павлов. Влияние распада пересыщенного твердого раствора, вызванного пластической деформацией, на механические свойства сплава алюминий — медь 12

ХИМИЯ

- Г. Б. Бокий и С. С. Бацанов. К вопросу о количественной характеристике транс-влияния 12
Ю. А. Приселков и Ан. Н. Несмеянов. Определение упругости паракальция и стронция ниже точки плавления методом меченых атомов . . . 12
Член-корреспондент АН СССР Н. И. Шуйкин, Х. М. Миначев, Е. Д. Тулупова и Ю. П. Егоров. Превращения этилциклопентана в присутствии Ru- и Pd-катализаторов под давлением водорода в проточной системе 12

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- М. С. Асланова. Влияние адсорбционно-активной среды на прочность стеклянных волокон 12
В. С. Багоцкий и И. Е. Яблокова. К вопросу о механизме каталитического разложения перекиси водорода на поверхности металлической ртути 12
Е. И. Донцова. Обмен изотопами кислорода между природным SiO_2 и углекислотой 12
Л. С. Палатник. Обобщенное правило «центра тяжести» для многокомпонентных систем 12
С. С. Поляк и В. Я. Штерн. К вопросу о радикально-цепной схеме окисления пропилена 12
А. Н. Сидоров. Инфракрасные спектры поглощения газообразных органических соединений, адсорбированных на микропористом стекле . . 12
В. И. Уризко и М. В. Поляков. О влиянии поверхности стенок на окисление метана в формальдегид 12
Н. М. Чирков и М. И. Винник. Кинетика и механизм реакций в присутствии тонких пленок нелетучих кислот. Полимеризация изобутилена на фосфорной кислоте 12

ГЕОХИМИЯ

- Л. В. Таусон. О формах нахождения некоторых редких элементов в изверженных горных породах 12

БИОХИМИЯ

- М. А. Губерниев, И. Г. Ковырев и М. Д. Ушакова. Об изменении содержания нуклеиновых кислот в слюнных железах при безусловном и условном раздражении 12
И. Д. Иванов. Торможение моно- и полифенолоксидазной активности ксантогенатами 12
И. Л. Каганова и действительный член Академии медицинских наук СССР В. Н. Орехович. О синтезе пептидов химотрипсином 12

Б. Н. Степаненко и А. С. Кайнова. Изучение синтетических гликогенов	1263
В. Филиппов и М. Ильина. Состояние биотина в растительном материале	1267

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И. Ф. Канавец. О механизме отвердения термореактивных пластиков (прессматериалов)	1271
П. А. Теснер. Расчет процессов неполного горения	1275

ГЕОЛОГИЯ

Л. Г. Бернадская, Ф. Е. Лапчик и И. С. Усенко. Об эффузивах Черниговского района (Днепровско-Донецкая впадина)	1279
Н. Н. Карлов. О находке ископаемых раковин каспийских моллюсков в русловых отложениях Нижнего Днепра и Ингульца	1283
А. А. Померанцева. О возрасте нижнемезозойских угленосных отложений области Тургайского пролива	1287
Д. П. Резвой. О Гиссаро-Алайской геосинклинали в верхнесилурийскую эпоху	1289
В. Ф. Соловьев и Л. С. Кулакова. Подводный грязевой вулкан «банка Грязный вулкан» в Каспийском море	1293
Л. Ф. Солонцов. К вопросу о стратиграфическом расчленении додевонских отложений Урало-Волжской области и смежных территорий	1297
П. Е. Харитонов. О региональных разломах в пределах Эмбенской солянокупольной области	1301

МИНЕРАЛОГИЯ

Б. Б. Звягин и Е. И. Нефедов. О кукците	1305
---	------

ПЕТРОГРАФИЯ

Н. П. Старков, А. Н. Кобяк и П. Н. Чирвинский. К петрографии пород кристаллического фундамента Молотовской области	1309
--	------

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Б. А. Тихомиров и Л. А. Куприянова. Исследование пыльцы из растительных остатков пищи березовского мамонта	1313
--	------

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Д. Ф. Соколов. О влиянии увлажнения почв на интенсивность выделения CO_2 при разложении лесного опада	1317
--	------

ЭКОЛОГИЯ

Л. С. Козловская. Обитание пресноводных моллюсков из рода <i>Pisidium</i> в заболоченных лесных почвах	1321
--	------

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. С. Кружилин и М. А. Эрвальд. Характер стадийного развития растений сладкого перца и баклажана	1325
Ф. Ф. Мацков и Б. С. Подражанская. Стимуляторы роста как микроудобрения	1329
И. В. Мосолов и В. Александровская. Влияние азота и фосфора на гидролиз крахмала в прорастающих семенах пшеницы	1333
Ю. В. Ракитин, К. Е. Овчаров, В. В. Гриненко и В. Ф. Щеглова. Физиологические изменения у хлопчатника при его осенней химической чеканке	1337
М. М. Сторожева. Влияние меди и бора на повышение урожайности кормовых трав и морозоустойчивости клеверов в условиях Северного Зауралья	1341
	1131

- А. П. Щербаков. Новые данные о накоплении элементов золы и азота различными тканями двухлеток хвойных пород 1343

ЗООЛОГИЯ

- Н. В. Европейцева. Связь между характером роста и переходом в покатное состояние у молоди озёрного лосося (*Salmo salar* L. m. sebago Gir.) 1347

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

- А. А. Браун и К. М. Акылбеков. Влияние предварительной рентгенизации реципиента при гомопластике кожи у крыс 1351
А. Н. Студитский. Развитие миобластов в пересадках измельченной сердечно-мышечной ткани на место удаленной скелетной мышцы . . 1355

ФИЗИОЛОГИЯ

- Н. Г. Берим. Особенности физиологического синергизма ДДТ и фтористых соединений при действии на насекомых 1359

ПАЗАРИТОЛОГИЯ

- Е. Д. Логачев. Развитие дорзовентральных сократительных волокон у ленточных гельминтов 1363
К. М. Рыжиков и Ю. Б. Дизер. К биологии скребней *Macracanthorhynchus catulinus* и *Mediorhynchus micracanthus* 1367

Указатель статей к тому ХСV:

- Систематический I
Алфавитный XI

М. М. ДЖРБАШЯН

ОБ ОДНОМ НОВОМ ИНТЕГРАЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ В ТЕОРИИ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 19 II 1954)

1°. Пусть

$$E_\rho(z; \mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\Gamma(\mu + n\rho^{-1})} \quad (\rho \geq 1/2, -\infty < \mu < +\infty) \quad (1)$$

целая функция типа Миттаг-Лефлера.

Теорема 1. Если $\rho \geq \frac{1}{2}$ и $\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}$, то для любой функции $g(y)$ из класса $g(y)y^{\mu-1} \in L_2(0, +\infty)$ формула

$$f^{(\pm)}(x) = \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \frac{d}{dx} \int_0^{\infty} \frac{e^{\pm ixy} - 1}{\pm iy} g(y) y^{\mu-1} dy \quad (2)$$

определяет почти всюду функции $f^{(+)}(x)$ и $f^{(-)}(x)$, принадлежащие к классу $L_2(0, +\infty)$. Двойственная формула

$$g(y)y^{\mu-1} = \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \left\{ e^{-i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{d}{dy} \left[y^\mu \int_0^{\infty} E_\rho(x^{\frac{1}{\rho}} y^{\frac{1}{\rho}} e^{i\frac{\pi}{2\rho}}; \mu+1) x^{\mu-1} f^{(-)}(x) dx \right] + \right. \\ \left. + e^{i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{d}{dy} \left[y^\mu \int_0^{\infty} E_\rho(x^{\frac{1}{\rho}} y^{\frac{1}{\rho}} e^{-i\frac{\pi}{2\rho}}; \mu-1) x^{\mu-1} f^{(+)}(x) dx \right] \right\} \quad (3)$$

также имеет место почти всюду на $(0, +\infty)$, при этом справедливо равенство Парсеваля

$$\int_0^{\infty} |g(y)|^2 y^{2\mu-2} dy = \rho \int_0^{\infty} |f^{(+)}(x)|^2 dx + \rho \int_0^{\infty} |f^{(-)}(x)|^2 dx. \quad (4)$$

Теорема 2. Для любой функции $f(x) \in L_2(0, +\infty)$ формула

$$g^{(\pm)}(y)y^{\mu-1} = \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \frac{d}{dy} \left\{ y^\mu \int_0^{\infty} E_\rho(x^{\frac{1}{\rho}} y^{\frac{1}{\rho}} e^{\pm i\frac{\pi}{2\rho}}; \mu+1) x^{\mu-1} f(x) dx \right\}, \quad (5)$$

где $\rho \geq \frac{1}{2}$, $\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}$, определяет почти всюду на $(0, +\infty)$ функции $g^{(+)}(y)y^{\mu-1}$ и $g^{(-)}(y)y^{\mu-1}$, принадлежащие к классу $L_2(0, +\infty)$. Двойственная формула

$$f(x) = \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \left\{ e^{-i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{d}{dx} \int_0^{\infty} \frac{e^{-ixy} - 1}{-iy} g^{(+)}(y) y^{\mu-1} dy + \right. \\ \left. + e^{i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{d}{dx} \int_0^{\infty} \frac{e^{ixy} - 1}{iy} g^{(-)}(y) y^{\mu-1} dy \right\} \quad (6)$$

* Известные теоремы М. Планшереля (1) о косинус- и синус-преобразованиях Фурье в классе $L_2(0, +\infty)$ следуют из результата теоремы 1 при частных предположениях, когда, соответственно, $\rho = 1/2$, $\mu = 1$ и $\rho = 1/2$, $\mu = 2$.

также имеет место почти всюду на $(0, +\infty)$. Существуют постоянные $M_1 > 0$ и $M_2 > 0$, не зависящие от функций $f(x)$ и $g^{(\pm)}(x)$, такие, что

$$\int_0^\infty |g^{(\pm)}(y)|^2 y^{2\mu-2} dy \leq M_1 \int_0^\infty |f(x)|^2 dx, \quad (7)$$

$$\int_0^\infty |f(x)|^2 dx \leq M_2 \left\{ \int_0^\infty |g^{(+)}(y)|^2 y^{2\mu-2} dy + \int_0^\infty |g^{(-)}(y)|^2 y^{2\mu-2} dy \right\}. \quad (8)$$

Отметим, что из теоремы 2 также следуют известные предложения о косинус- и синус-преобразованиях Фурье. Наконец, при $\rho = \mu = 1$ обе теоремы содержат, в частности, теорему Планшереля о преобразовании Фурье для класса функций $L_2(0, +\infty)$.

2°. Теоремы 1 и 2 позволяют установить следующее предложение.

Теорема 3. Пусть $\rho \geq \frac{1}{2}$ и $\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{\rho}{2}$. Если $g_1(y)$ — произвольная функция из класса $\int_0^\infty |g_1(y)|^2 y^{2\mu\rho-\rho-1} dy < +\infty$, то функции

$$f^{(\pm)}(x) = \sqrt{\frac{\rho}{2\pi}} \frac{d}{dx} \int_0^\infty \frac{e^{\pm ixy^\rho} - 1}{\pm iy^\rho} g_1(y) y^{\mu\rho-1} dy \quad (9)$$

принадлежат к классу $L_2(0, +\infty)$. Целые функции порядка ρ и типа $\sigma > 0$, определяемые по формуле

$$\begin{aligned} G_\sigma(z) = & e^{-i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{1}{V^{2\pi\rho}} \int_0^\sigma E_\rho(x^\frac{1}{\rho} z e^{i\frac{\pi}{2\rho}}; \mu) x^{\mu-1} f^{(-)}(x) dx + \\ & + e^{i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{1}{V^{2\pi\rho}} \int_0^\sigma E_\rho(x^\frac{1}{\rho} e^{-i\frac{\pi}{2\rho}} z; \mu) x^{\mu-1} f^{(+)}(x) dx \end{aligned} \quad (10)$$

в среднем сходятся к $g_1(y)$, когда $\sigma \rightarrow +\infty$, в смысле

$$\lim_{\sigma \rightarrow +\infty} \int_0^\infty |g_1(y) - G_\sigma(y)|^2 y^{2\mu\rho-\rho-1} dy = 0. \quad (11)$$

Когда $\rho \geq 1$, для функций $G_\sigma(z)$ справедливо также утверждение

$$\lim_{\sigma \rightarrow +\infty} \int_0^\infty |G_\sigma(y e^{i\varphi})|^2 y^{2\mu\rho-\rho-1} dy = 0, \quad \frac{\pi}{\rho} \leq \varphi \leq 2\pi - \frac{\pi}{\rho}. \quad (12)$$

При помощи теоремы 3 представляется возможным построить аппарат интеграла Фурье для произвольной конечной системы лучей, исходящих из начала координат. При этом устанавливается, что на такой системе лучей к произвольной функции класса L_2 можно в среднем приблизиться целыми функциями, тип которых стремится к бесконечности. Обозначим через $\{L\}$ совокупность лучей l_k : $\arg z = \varphi_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$); $0 \leq \varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_n < 2\pi$, исходящих из начала координат, и пусть $\alpha = \max_{1 \leq k \leq n} \left\{ \frac{\pi}{\varphi_{kn} - \varphi_k} \right\}$.

Теорема 4. Пусть $\rho \geq \alpha$ и $\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}$. Для произвольной функции $F(z)$, определенной на $\{L\}$ и удовлетворяющей условию

$$\int_{\{L\}} |F(z)|^2 |z|^{2\mu\rho - \rho - 1} d|z| < +\infty, \quad (13)$$

существуют целые функции $G_\sigma(z)$ порядка ρ и типа σ , для которых

$$\lim_{\sigma \rightarrow +\infty} \int_{\{L\}} |F(z) - G_\sigma(z)|^2 |z|^{2\mu\rho - \rho - 1} d|z| = 0. \quad (14)$$

Если обозначим

$$f_k^{(\pm)}(x) = \sqrt{\frac{\rho}{2\pi}} \frac{d}{dx} \int_0^\infty \frac{e^{\pm i x r^\rho} - 1}{\pm i r^\rho} F(re^{i\varphi_k}) r^{\mu\rho - 1} dr \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (15)$$

то $f_k^{(\pm)}(x) \in L_2(0, +\infty)$, и целые функции $G_\sigma(z)$ определяются так:

$$G_\sigma(z) = \sum_{k=1}^n G_\sigma^{(k)}(z), \quad (16)$$

где

$$G_\sigma^{(k)}(z) = e^{-i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \int_0^\sigma E_\rho\left(x^{\frac{1}{\rho}} z e^{i\left(\frac{\pi}{2\rho} - \varphi_k\right)}; \mu\right) x^{\mu-1} f_k^{(-)}(x) dx + \\ + e^{i\frac{\pi}{2}(1-\mu)} \frac{1}{V_{2\pi\rho}} \int_0^\sigma E_\rho\left(x^{\frac{1}{\rho}} z e^{-i\left(\frac{\pi}{2\rho} + \varphi_k\right)}; \mu\right) x^{\mu-1} f_k^{(+)}(x) dx \quad (k = 1, 2, \dots, n). \quad (17)$$

3°. Теоремы об обобщенных преобразованиях, приведенные выше, позволяют существенно дополнить ряд результатов нашей работы (2) в представлении целых функций конечного порядка и нормального типа, квадрат модуля которых интегрируем по лучам в комплексной области. Обозначим через R_σ совокупность целых функций $f(z)$ порядка $\frac{1}{2} \leq \rho < 1$ и типа $\leq \sigma$, для которых

$$\int_0^\infty \left| f\left(te^{\pm i\frac{\pi}{2\rho}}\right) \right|^2 t^{2\mu\rho - \rho - 1} dt < +\infty \quad \left(\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}\right). \quad (18)$$

Теорема 5. Класс R_σ совпадает с множеством целых функций $f(z)$, допускающих представление

$$f(z) = \int_0^{\sigma^{1/\rho}} E_\rho(vz; \mu) \psi(v) v^{\mu\rho - 1} dv, \quad (19)$$

$$\text{где } \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho} \text{ и } \int_0^{\sigma^{1/\rho}} |\psi(v)|^2 v^{\rho-1} dv < +\infty.$$

Обозначим через Y_σ класс целых функций порядка $\rho \geq \frac{1}{2}$ и типа $\leq \sigma$, для которых

$$\int_0^\infty |f(te^{i\alpha})|^2 t^{2\mu\rho - \rho - 1} dt < +\infty \quad \left(\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{\rho}\right) \quad (20)$$

$$\text{при } \frac{\pi}{2\rho} \leq \alpha \leq 2\pi - \frac{\pi}{2\rho}.$$

Теорема 6. Класс Y_σ совпадает с классом целых функций $f(z)$ допускающих представление в виде

$$f(z) = \int_0^{\sigma^{1/p}} E_p(vz; \mu) \psi(v) v^{\mu p - 1} dv, \quad (21)$$

$$\text{где } \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{p} \text{ и } \int_0^{\sigma^{1/p}} |\psi(v)|^2 v^{p-1} dv < +\infty.$$

Отнесем к классу M_σ все целые функции $f(z)$ порядка ρ ($2 \leq \rho < 2$) и типа $\leq \sigma$, для которых

$$\int_0^\infty \left| f\left(te^{\pm i\frac{\pi}{2}\left(1 \pm \frac{1}{p}\right)}\right) \right|^2 t^{2\mu p - p - 1} dt < +\infty \quad \left(\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{p}\right). \quad (22)$$

Теорема 7. Класс M_σ совпадает с множеством целых функций $f(z)$, допускающих представление вида

$$f(z) = \int_{-\sigma^{1/p}}^{\sigma^{1/p}} E_p(ivz; \mu) \psi(v) v^{\mu p - 1} dv, \quad (23)$$

$$\text{где } \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{p} \text{ и } \int_{-\sigma^{1/p}}^{\sigma^{1/p}} |\psi(v)|^2 |v|^{p-1} dv < +\infty.$$

Из этой теоремы при $\mu = \rho = 1$ следует результат Палей и Винера⁽³⁾ о представлении целых функций экспоненциального типа.

Обозначим через $A_\sigma(p)$ ($p \geq 1$, целое) класс целых функций $f(z)$ порядка $p \geq 1$ и типа $\leq \sigma$, удовлетворяющих условиям

$$\int_0^\infty \left| f\left(te^{-i\pi\left(\frac{1}{2} + \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{1}{p}\right)}\right) \right|^2 t^{2\mu p - p - 1} dt < +\infty \quad \left(\frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{p}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, 2p - 1\right). \quad (24)$$

Теорема 8. Класс $A_\sigma(p)$ совпадает с множеством целых функций $f(z)$, представимых в виде

$$f(z) = \sum_{k=0}^{p-1} \int_{-\sigma^{1/p}}^{\sigma^{1/p}} E_p\left\{ze^{i\pi\left(\frac{1}{2} + \frac{k}{p}\right)}v; \mu\right\} \psi_k(v) v^{\mu p - 1} dv,$$

$$\text{где } \frac{1}{2} < \mu < \frac{1}{2} + \frac{1}{p} \text{ и } \int_{-\sigma^{1/p}}^{\sigma^{1/p}} |\psi(v)|^2 |v|^{p-1} dv < +\infty \quad (k = 0, 1, 2, \dots, p-1).$$

Отметим, что из этой теоремы при $p = \mu = 1$ опять следует упомянутый выше результат Палей и Винера.

Сектор математики
Академии наук Арм.ССР и
Ереванский государственный университет
им. В. М. Молотова

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Титчмарш, Введение в теорию интегралов Фурье, 1948, гл. III
² М. М. Джрбашян, Матем. сборн., 33 (75):3 (1953). ³ R. Paley, N. Wiener
Fourier Transforms in the Complex Domain, 1934, p. 12.

М. А. КРЕЙНЕС и Н. Д. АЙЗЕНШТАТ

О ВОЗМОЖНОСТИ НОМОГРАФИРОВАНИЯ С ТОЧНОСТЬЮ ДО МАЛЫХ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 24 II 1954)

В настоящей работе рассматриваются номограммы из выравненных точек; всюду предполагается при этом, что функции $u = X_1(x)$, $v = X_2(x)$, $u = Y_1(y)$, $v = Y_2(y)$, $u = Z_1(z)$, $v = Z_2(z)$, задающие шкалы номограммы, достаточное число раз дифференцируемы и, кроме того, что выполняется условие $Z_1'^2 + Z_2'^2 > 0$ в каждой точке шкалы z . Геометрически последнее означает, что отметки на шкале z расположены «не чересчур часто» и что шкала z (ответная) в каждой точке имеет определенную касательную.

Тройку чисел (x_0, y_0, z_0) назовем обыкновенной точкой номограммы, если: 1) точка x_0 шкалы x , точка y_0 шкалы y и точка z_0 шкалы z лежат на одной прямой; 2) никакие две из точек x_0, y_0, z_0 не совпадают и 3) разрешающая прямая (x_0, y_0, z_0) в точке z_0 не касается ответной шкалы z (см. рис. 1).

Если точка (x_0, y_0, z_0) — обыкновенная точка номограммы и если ограничиться достаточно малыми участками шкал, содержащими точки с отметками x_0 , соответственно y_0, z_0 , а остальное стереть, то оставшаяся номограмма будет устанавливать соотношение

$$\Delta(x, y, z) \equiv \begin{vmatrix} X_1(x) & X_2(x) & 1 \\ Y_1(y) & Y_2(y) & 1 \\ Z_1(z) & Z_2(z) & 1 \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

определяющее в некоторой окрестности точки (x_0, y_0) функцию $N(x, y)$ ($N(x_0, y_0) = z_0$), дифференцируемую в этой точке столько же раз, сколько раз дифференцируемы элементы определителя (1).

Про функцию $z = N(x, y)$ будем говорить, что она номографируема в окрестности точки (x_0, y_0) , если существует номограмма, имеющая точку (x_0, y_0, z_0) своей обыкновенной точкой, определяющая в некоторой окрестности (x_0, y_0) функцию $z = N(x, y)$.

Будем говорить, что функция $z = f(x, y)$ номографируется в окрестности точки (x_0, y_0) с точностью до малых k -го порядка, если существует функция $z = N(x, y)$, номографируемая в этой окрестности и такая, что

$$f(x, y) - N(x, y) = O(\rho^k), \quad \text{где } \rho = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}.$$

Будем предполагать при этом, что элементы определителя (1), задающего функцию $N(x, y)$, k раз дифференцируемы в точке x_0, y_0, z_0 . Впредь для краткости будем считать $x_0 = y_0 = z_0$.

1. Можно показать, что всегда существует проективное преобразование плоскости (u, v) (см. рис. 1 и 2), приводящее определитель (1) к виду

$$\Delta(x, y, z) \equiv \begin{vmatrix} a_1x + a_2x^2 + \dots + a_kx^k + o(x^k) & 1 + \alpha_1x + \alpha_2x^2 + \dots + \alpha_kx^k + o(x^k) & 1 \\ b_1y + b_2y^2 + \dots + b_ky^k + o(y^k) & -1 + \beta_1y + \beta_2y^2 + \dots + \beta_ky^k + o(y^k) & 1 \\ \gamma_1z + \gamma_2z^2 + \dots + \gamma_kz^k + o(z^k) & \gamma_2z^2 + \gamma_3z^3 + \dots + \gamma_kz^k + o(z^k) & 1 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Впредь под $\Delta(x, y, z)$ будем понимать определитель (2).

Легко доказывается следующее утверждение:

Пусть $\Delta[x, y, f(x, y)] = O(\rho^k)$, где $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Тогда $f(x, y)$ номографируема в окрестности точки $(0, 0)$ с точностью до малых k -го порядка, и обратно, если $f(x, y)$ номографируется в окрестности точки $(0, 0)$ с точностью до малых k -го порядка, то существует такой определитель $\Delta(x, y, z)$, что $\Delta[x, y, f(x, y)] = O(\rho^k)$.

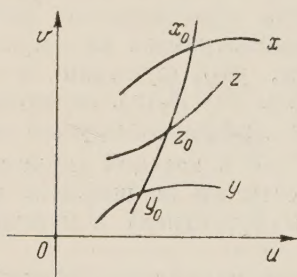


Рис. 1

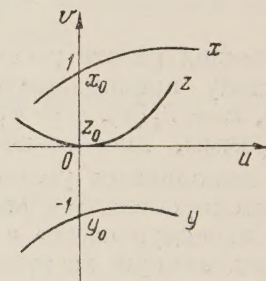


Рис. 2

В силу сказанного вопрос о номографировании с точностью до малых k -го порядка сводится к вопросу об определении коэффициентов $a_i, b_i, c_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ ($i \leq k$) в определителе (2) так, чтобы

$$\Delta[x, y, f(x, y)] = O(\rho^k).$$

2. Пусть $X(x), Y(y), Z(z)$ — три функции, k раз дифференцируемые в точке $(0, 0, 0)$ такие, что $X(0) = Y(0) = Z(0)$, $X'(0) \neq 0$, $Y'(0) \neq 0$, $Z'(0) \neq 0$. Тогда $X = X(x)$, $Y = Y(y)$, $Z = Z(z)$ устанавливают непрерывное и однозначное соответствие между окрестностями точек $O(0, 0, 0)$ и $O'(0, 0, 0)$ в пространствах X, Y, Z и x, y, z .

Заметим, что в этих предположениях существует обратное преобразование $x = x(X)$, $y = y(Y)$, $z = z(Z)$; функции $x(X)$, $y(Y)$, $z(Z)$ также k раз дифференцируемы в точке $(0, 0, 0)$. Такие преобразования назовем допустимыми.

Очевидно:

Если функция $z = f(x, y)$ номографируется с точностью до малых k -го порядка, то функция $Z = F(X, Y)$, полученная из функции $z = f(x, y)$ при помощи допустимого преобразования, обладает этим же свойством.

Произвольная k раз дифференцируемая в точке $(0, 0)$ функция двух переменных $z = f(x, y)$ ($f(0, 0) = 0$) может быть представлена так:

$$z = f(x, y) = p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + \dots + p_{0k}y^k + o(\rho^k), \quad \rho = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (3)$$

Можно доказать следующее:

Пусть $z = f(x, y)$ — функция вида (3), где $p_{10} \neq 0$, $p_{01} \neq 0$. Существует допустимое преобразование такое, что полученная после

того преобразования функция имеет вид:

$$= X + Y + XY(X - Y)(q_{00} + q_{10}X + q_{01}Y + q_{20}X^2 + \dots + q_{0,k-3}Y^{k-3}) + O(\bar{\rho}^k),$$

$$\bar{\rho} = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (4)$$

Из последнего утверждения следует, что исследование вопроса о возможности номографирования в окрестности точки $(0, 0)$ той или иной функции z , удовлетворяющей условиям $z'_x(0, 0) \neq 0$, $z'_y(0, 0) \neq 0$ с точностью до малых k -го порядка, всегда приводится к такому же вопросу, отнесенному к функции вида (4). Всюду ниже будем предполагать, что функция $z = f(x, y)$ имеет вид (4).

3. Допустим, что функция вида (4) номографируется с точностью до малых k -го порядка. Тогда, согласно сказанному выше, при надлежащем подборе коэффициентов $a_i, b_i, c_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ будет иметь место равенство

$$\Delta(x, y, z) = O(\rho^k). \quad (5)$$

Подставляем (4) в определитель $\Delta(x, y, z)$ и в получившемся выражении приравняем нулю коэффициенты при $x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y, y^3, \dots, y^5$.

Благодаря этому приходим к соотношениям, показывающим, что каждый из коэффициентов $a_1, \dots, a_5, b_1, \dots, b_5, c_3, c_4, c_5, \alpha_3, \alpha_4, \beta_1, \beta_3, \beta_4, \gamma_1, \gamma_4$ есть целая рациональная функция величин $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3, q_{00}, q_{10}, \dots, q_{02}$. Указанные соотношения дают возможность построить номограмму, осуществляющую номографирование данной функции с точностью до малых 6-го порядка. Параметры $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$, а также величины $O(x^6), O(y^6), O(z^6)$ остаются здесь произвольными.

Таким образом: *любая 6 раз дифференцируемая в некоторой точке (x_0, y_0) функция $f(x, y)$, у которой $f'_x(x_0, y_0) \neq 0$, $f'_y(x_0, y_0) \neq 0$, номографируется в окрестности этой точки с точностью до малых 6-го порядка.*

4. Приравнивание нулю коэффициентов при членах 6-й степени в определителе (5) приводит к 7 уравнениям, содержащим всего 6 не входящих ранее коэффициентов $a_6, b_6, c_6, \alpha_5, \beta_5, \gamma_5$; это дает нам одно соотношение между прежде произвольными $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$; оно имеет вид:

$$-4q_{00}(q_{10} + q_{01}) - 2(q_{30} - q_{03}) + 5(q_{21} - q_{12}) + 2(q_{20} + q_{02})\alpha_1 -$$

$$- 2q_{11}\alpha_1 + (5/2q_{10} - q_{01})\alpha_2 + (-q_{10} + 5/2q_{01})\beta_2 - 16q_{00}\gamma_3 - 7/4(q_{10} - q_{01})\alpha_1^2 -$$

$$- 5/6q_{00}\alpha_1^3 + 2/3q_{00}\alpha_1(\alpha_2 - \beta_2) = 0. \quad (A)$$

Соотношению (A) не всегда можно удовлетворить. Пусть, например, $z = x + y + x^2y^2(x - y)^2$. Эта функция имеет вид (4). Составленное для нее соотношение (A) не выполняется ни при каких значениях $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$, и, следовательно, функцию $z = x + y + x^2y^2(x - y)^2$ нельзя номографировать в окрестности точки $(0, 0)$ с точностью до малых 6-го порядка.

Легко видеть, что уравнение (A) с неизвестными $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$ не имеет решений в том и только в том случае, когда одновременно выполняются следующие условия:

$$q_{00} = q_{10} = q_{01} = q_{20} + q_{02} - q_{11} = 0, \quad 2(q_{30} - q_{03}) - 5(q_{21} - q_{12}) \neq 0. \quad (6)$$

Условия (6) являются, таким образом, условиями того, что функция вида (4) не номографируется с точностью до малых 7-го порядка.

Если хоть одно из этих условий не выполнено, то легко можно построить определитель $\Delta(x, y, z)$, осуществляющий номографирование рассматриваемой функции в окрестности точки $(0, 0)$.

Заметим, что «как правило» 7 раз дифференцируемая функция номографируема с точностью до малых 7-го порядка; ведь не номографируемы только те функции, которые удовлетворяют 5 соотношениям (6).

5. Приравнивание нулю коэффициентов при членах 7-й степени определителя (5) дает 8 соотношений между новыми коэффициентами $a_7, b_7, c_7, \alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ и входившими ранее $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$. Эти 8 равенств определяют коэффициенты $a_7, b_7, c_7, \alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ и, кроме того, приводя к 2 соотношениям между $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$:

$$5(q_{40} - q_{04}) - 8(q_{31} - q_{13}) + \dots = 0; \quad (B_1)$$

$$5(q_{40} + q_{04}) - 14(q_{31} + q_{13}) + 18q_{22} + \dots = 0. \quad (B_2)$$

Не выписанные явно члены являются целыми рациональными функциями величин $q_{00}, q_{10}, q_{01}, q_{20}, q_{11}, q_{02}, q_{30}, q_{12}, q_{21}, q_{03}$ и $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$. Эти функции обращаются в тождественный нуль при

$$q_{00} = q_{10} = q_{01} = q_{20} = q_{11} = q_{02} = q_{30} = q_{21} = q_{12} = q_{03} = 0.$$

Необходимым и достаточным условием номографируемости функции вида (4) с точностью до малых 8-го порядка является наличие действительного решения $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$ у трех уравнений $(A), (B_1)$ и (B_2) с 4 неизвестными $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$.

Легко видеть, как в случае совместности условий $(A), (B_1)$ и (B_2) построить определитель, осуществляющий номографирование с точностью до малых 8-го порядка.

Примером функции, номографируемой с точностью до малых 7-го порядка, но не номографируемой с точностью до малых 8-го порядка служит функция $z = x + y + x^2 y^2 (x - y)^3$.

Условие (A) для этой функции выполнено (обратилось в тождество), а условия (B_1) и (B_2) не выполняются ни при каких значениях $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$. В самом деле, условие (B_1) , примененное к этой функции, приводит к противоречию.

6. Приравнивая нулю коэффициенты при членах 8-й степени в равенстве (5), получим 9 соотношений между $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$ и $a_8, b_8, c_8, \alpha_7, \beta_7, \gamma_7$. Эти 9 соотношений позволяют выразить $a_8, b_8, c_8, \alpha_7, \beta_7, \gamma_7$ через $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$ и, кроме того, приводят к 3 соотношениям между $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$. Обозначим их, соответственно, через $(C_1), (C_2)$ и (C_3) .

Необходимым и достаточным условием номографируемости функции вида (4) с точностью до малых 9-го порядка является наличие системы действительных значений $\alpha_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_3$, удовлетворяющей 6 уравнениям $(A), (B_1), (B_2), (C_1), (C_2)$ и (C_3) .

Условие номографируемости с точностью до малых 9-го порядка приводит к 2 соотношениям между величинами q_{ik} ($i + k \leq 5$). Эти 2 соотношения должны удовлетворять величины q_{ik} любой номографируемой функции вида (4). Заметим, что отсюда следует, что любая достаточно гладкая номографируемая функция должна удовлетворять 2 дифференциальным уравнениям 8-го порядка.

Московский государственный
университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 II 1954

Б. И. ПЛОТКИН

СТРУКТУРНЫЕ ИЗОМОРФИЗМЫ РАЗРЕШИМЫХ R -ГРУПП

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 18 II 1954)

§ 1. Один из основных результатов этой заметки состоит в доказательстве того факта, что в случае R^* -групп разрешимость есть структурное свойство. Через φ будем всегда обозначать структурный изоморфизм двух групп \mathfrak{G} и \mathfrak{G}^φ . Если H — подгруппа из \mathfrak{G} , то H^φ означает ее образ в \mathfrak{G}^φ при структурном изоморфизме φ . В работе используются понятия R -группы, R^* -группы, изолированной и плотной подгрупп. (Определение этих понятий, так же как ряд основных фактов о структурных изоморфизмах групп, см. (1-4).)

Из этих определений и из гл. II книги (1), в частности, следует:

а) Если \mathfrak{G} — группа без кручения, то и \mathfrak{G}^φ — группа без кручения.

б) Если \mathfrak{G} — коммутативная группа без кручения, то и \mathfrak{G}^φ — коммутативная группа без кручения.

в) Если \mathfrak{G} — R -группа, то и \mathfrak{G}^φ — R -группа.

г) Если H — изолированная подгруппа в \mathfrak{G} , то и H^φ — изолированная подгруппа в \mathfrak{G}^φ .

д) Если H — циклическая или локально циклическая подгруппа \mathfrak{G} , то H^φ — циклическая (соответственно, локально циклическая) подгруппа в \mathfrak{G}^φ .

§ 2. Лемма 1. Если \mathfrak{G} и \mathfrak{G}^φ — две структурно-изоморфные группы без кручения и $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G})$ — центр группы \mathfrak{G} , то $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G})^\varphi$ — центр группы \mathfrak{G}^φ , т. е. $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G})^\varphi = \mathfrak{Z}(\mathfrak{G}^\varphi)$.

Доказательство. Пусть циклическая подгруппа $\{g\}$ содержится в $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G})^\varphi$ и $\{x\}$ — любая другая циклическая подгруппа из \mathfrak{G}^φ .

Пусть, далее, A и B такие (циклические) подгруппы в \mathfrak{G} , что $A^\varphi = \{g\}$ и $B^\varphi = \{x\}$. Так как $A \subset \mathfrak{Z}(\mathfrak{G})$, то $\{AB\}$ — коммутативная группа. Значит (свойство б), $\{g, x\}$ — коммутативная группа, т. е. $\{g, x\} \in \mathfrak{Z}(\mathfrak{G}^\varphi)$, или $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G})^\varphi \subset \mathfrak{Z}(\mathfrak{G}^\varphi)$. Используя обратный изоморфизм, получаем $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G}^\varphi)^{\varphi^{-1}} \subset \mathfrak{Z}(\mathfrak{G})$. Отсюда $\mathfrak{Z}(\mathfrak{G}^\varphi) \subset \mathfrak{Z}(\mathfrak{G})^\varphi$. Лемма доказана.

Лемма 2. Пусть \mathfrak{G} и \mathfrak{G}^φ — две структурно-изоморфные группы без кручения, причем группа \mathfrak{G} обладает рациональным рядом:

$$E \subset H \subset \mathfrak{G},$$

где H — не циклический рациональный нормальный делитель в \mathfrak{G} , \mathfrak{G}/H — бесконечная циклическая группа. Тогда H^φ — нормальный делитель в \mathfrak{G}^φ .

Доказательство. Вначале покажем, что если H' — некоторая плотная изолированная подгруппа в \mathfrak{G} , отличная от H , то H' — беско-

нечная циклическая группа. Так как H' плотная и изолированная, $H' \cap H = E$. Отсюда:

$$H'H/H \approx H'/H' \cap H \approx H'.$$

Но $H'H/H$ как подгруппа \mathbb{G}/H есть бесконечная циклическая группа. Значит, и H' — бесконечная циклическая группа. Допустим теперь, что H^φ не является нормальным делителем в \mathbb{G}^φ , и H'^φ — некоторая сопряженная с H^φ подгруппа в \mathbb{G}^φ . H^φ является изолированной, плотной и не циклической подгруппой в \mathbb{G}^φ . Этими же свойствами обладают и H'^φ . Если H' — прообраз H'^φ в \mathbb{G} , то и H' — плотная изолированная и не циклическая подгруппа в \mathbb{G} , отличная от H .

Из предыдущего следует, что таких подгрупп в \mathbb{G} нет. Полученное противоречие показывает, что $H^\varphi = H'^\varphi$, т. е. H^φ инвариантна в \mathbb{G}^φ .

Лемма 3. Пусть \mathbb{G} и \mathbb{G}^φ — две структурно-изоморфные R -группы, причем группа \mathbb{G} обладает рациональным рядом длины (группа рационального ранга 2):

$$E \subset H \subset \mathbb{G}.$$

Тогда H^φ — нормальный делитель в \mathbb{G}^φ .

Доказательство. В работе (4) нами показано, что при условиях леммы, если \mathbb{G} — некоммутативная группа, то H — не циклическая группа, а \mathbb{G}/H — бесконечная циклическая группа. Значит, если \mathbb{G} — коммутативна, то мы можем сослаться на предыдущую лемму. Если же \mathbb{G} коммутативна, то и \mathbb{G}^φ коммутативна, и инвариантно H^φ очевидна.

Лемма 4. Пусть \mathbb{G} и \mathbb{G}^φ — две структурно-изоморфные R -группы. Пусть, далее, A — инвариантная, коммутативная и изолированная подгруппа в \mathbb{G} . Тогда A^φ будет также инвариантной, коммутативной и изолированной подгруппой в \mathbb{G}^φ .

Доказательство. Коммутативность и изолированность A^φ очевидны. Нужно доказать инвариантность. Покажем, что мы можем ограничиться случаем, когда \mathbb{G}/A — бесконечная циклическая группа. Действительно, чтобы доказать инвариантность A^φ в \mathbb{G}^φ , достаточно показать, что A^φ инвариантна в $\{A^\varphi, g\}$, где g — произвольный элемент в \mathbb{G}^φ . Пусть B — такая циклическая подгруппа в \mathbb{G} , что $B^\varphi = \{A^\varphi, g\}$. Тогда $\{AB\}^\varphi = \{A^\varphi, g\}$ и обе эти группы, очевидно, R -группы. Так как $\{AB\}/A$ — бесконечная циклическая группа, то дальше мы можем считать, что уже \mathbb{G}/A — бесконечная циклическая группа. Допустим, что A^φ не инвариантна в \mathbb{G}^φ . Тогда в \mathbb{G}^φ найдется такой элемент, что $g^{-1}A^\varphi g \neq A^\varphi$. Подгруппы $g^{-1}A^\varphi g$ и A^φ не инцидентны, так как обе они — максимальные изолированные подгруппы в \mathbb{G}^φ . Последнее следует из того, что A — максимальная изолированная подгруппа в \mathbb{G} . Пусть A' — такая подгруппа в \mathbb{G} , что $A'^\varphi = g^{-1}A^\varphi g$. A и A' не инцидентны, и поэтому $I(AA') = \mathbb{G}$. Так как A и A' обе коммутативны, то их пересечение $D = A \cap A'$ находится в центре AA' . Из того, что \mathbb{G} — R -группа, следует, что D — изолированная подгруппа центра. Из леммы 1 следует, что $D^\varphi = A^\varphi \cap g^{-1}A^\varphi g$ является изолированной подгруппой центра \mathbb{G}^φ . Покажем, что \mathbb{G}/D — R -группа рационального ранга 2. Так как $A'/D = A'/A' \cap A \approx AA'/A$, то D — максимальная изолированная подгруппа в A' . Отсюда D^φ — максимальная изолированная подгруппа в $g^{-1}A^\varphi g$, а $gD^\varphi g^{-1}$ будет максимальной изоли-

рованной подгруппой в A^φ . Но D^φ в центре \mathfrak{G}^φ , и поэтому $D^\varphi g^{-1} = D^\varphi$, и D^φ будет максимальной изолированной подгруппой в A^φ . Но тогда D обладает этим свойством в A . Значит, A/D и \mathfrak{G}/A — рациональные группы. Известно⁽³⁾, что фактор-группа R -группы по изолированной подгруппе центра снова R -группа. Значит, \mathfrak{G}/D и $\mathfrak{G}^\varphi/D^\varphi$ — R -группы. Структурный изоморфизм φ индуцирует структурный изоморфизм факторов \mathfrak{G}/D и $\mathfrak{G}^\varphi/D^\varphi$, переводящий A/D в A^φ/D^φ . Согласно лемме 3, A^φ/D^φ инвариантна в $\mathfrak{G}^\varphi/D^\varphi$. Отсюда A^φ инвариантна в \mathfrak{G}^φ . Полученное противоречие доказывает лемму.

§ 3. Теорема 1. Пусть \mathfrak{G} и \mathfrak{G}^φ — две структурно-изоморфные группы, причем группа \mathfrak{G} обладает возрастающим инвариантным разрешимым рядом:

$$E = A_0 \subset A_1 \subset A_2 \subset \dots \subset A_\alpha \subset \dots \subset A_\gamma = \mathfrak{G} \quad (*)$$

таким, что все \mathfrak{G}/A_α — R -группы. Тогда ряд

$$E = A_0^\varphi \subset A_1^\varphi \subset A_2^\varphi \subset \dots \subset A_\alpha^\varphi \subset \dots \subset A_\gamma^\varphi = \mathfrak{G}^\varphi \quad (*')$$

будет также инвариантным разрешимым в \mathfrak{G}^φ и все $\mathfrak{G}^\varphi/A_\alpha^\varphi$ — R -группы.

Доказательство. Достаточно доказать инвариантность всех A_α^φ . Инвариантность A_1^φ следует из леммы 4. Пусть инвариантность A_β^φ установлена для всех $\beta < \alpha$. Если α предельное, то инвариантность A_α^φ очевидна. Пусть α не предельное. Тогда $A_{\alpha-1}^\varphi$ инвариантна в \mathfrak{G}^φ . φ индуцирует структурный изоморфизм $\mathfrak{G}/A_{\alpha-1}$ и $\mathfrak{G}^\varphi/A_{\alpha-1}^\varphi$, переводящий $A_\alpha/A_{\alpha-1}$ в $A_\alpha^\varphi/A_{\alpha-1}^\varphi$. По лемме 4 $A_\alpha^\varphi/A_{\alpha-1}^\varphi$ инвариантна в $\mathfrak{G}^\varphi/A_{\alpha-1}^\varphi$ и, значит, A_α^φ инвариантна в \mathfrak{G}^φ . Индукция проходит и, следовательно, теорема доказана.

Теорема 2. Пусть \mathfrak{G} и \mathfrak{G}^φ — две структурно-изоморфные группы. Пусть \mathfrak{G} является R^* -группой, обладающей возрастающим инвариантным разрешимым рядом. Тогда: 1) \mathfrak{G}^φ также R^* -группа, обладающая возрастающим инвариантным разрешимым рядом; 2) если H — инвариантная изолированная подгруппа в \mathfrak{G} , то H^φ — инвариантная изолированная подгруппа в \mathfrak{G}^φ ; 3) если $I(K(\mathfrak{G}))$ — изолятор коммутанта группы \mathfrak{G} , то $I(K(\mathfrak{G}))^\varphi$ является изолятором коммутанта группы \mathfrak{G}^φ , т. е.

$$I(K(\mathfrak{G}))^\varphi = I(K(\mathfrak{G}^\varphi)).$$

Доказательство. 1) Так как \mathfrak{G} — R^* -группа, то всякий инвариантный разрешимый ряд путем перехода к изоляторам можно превратить в изолированный инвариантный разрешимый ряд⁽⁴⁾. Отсюда и из теоремы 1 следует наличие в \mathfrak{G}^φ возрастающего инвариантного разрешимого ряда при условии, что таким рядом обладает \mathfrak{G} . Покажем, что \mathfrak{G}^φ — R^* -группа. Пусть B — инвариантная изолированная подгруппа в \mathfrak{G}^φ . Нужно показать, что \mathfrak{G}^φ/B — R -группа. Пусть A — подгруппа из \mathfrak{G} такая, что $A^\varphi = B$. Покажем, что A инвариантна в \mathfrak{G} . Для этого проведем в B возрастающий изолированный разрешимый инвариантный в \mathfrak{G}^φ ряд:

$$E = B_0 \subset B_1 \subset B_2 \subset \dots \subset B_\alpha \subset \dots \subset B_\gamma = B. \quad (**)$$

Это сделать можно. Далее рассмотрим ряд:

$$E = B_0^{\varphi^{-1}} \subset B_1^{\varphi^{-1}} \subset B_2^{\varphi^{-1}} \subset \dots \subset B_\alpha^{\varphi^{-1}} \subset \dots \subset B_\gamma^{\varphi^{-1}} = B^{\varphi^{-1}} = A, \quad (**')$$

(где φ^{-1} — обратный изоморфизм). Инвариантность A будем доказывать индукцией по длине ряда (**'). Так как \mathfrak{G} — R -группа, то и \mathfrak{G}^φ — R -группа. B_1 — инвариантная изолированная коммутативная подгруппа в \mathfrak{G}^φ . По лемме 4 этим свойством обладает и $B_1^{\varphi^{-1}}$ в \mathfrak{G} . Пусть уже доказано для всех $\beta < \alpha$, что все $B_\beta^{\varphi^{-1}}$ инвариантны в \mathfrak{G} . Если α предельное, то все ясно. Пусть α не предельное. Факторы $\mathfrak{G}/B_{\alpha-1}^{\varphi^{-1}}$ и $\mathfrak{G}^\varphi/B_{\alpha-1}$ структурно-изоморфны, причем существует структурный изоморфизм, переводящий $B_\alpha/B_{\alpha-1}$ в $B_\alpha^{\varphi^{-1}}/B_{\alpha-1}^{\varphi^{-1}}$. Так как \mathfrak{G} — R^* -группа, то $\mathfrak{G}/B_{\alpha-1}^{\varphi^{-1}}$ — R -группа. Следовательно, и $\mathfrak{G}^\varphi/B_{\alpha-1}$ — R -группа. $B_\alpha/B_{\alpha-1}$ — инвариантная коммутативная изолированная подгруппа R -группы $\mathfrak{G}^\varphi/B_{\alpha-1}$. Отсюда, используя лемму 4 для обратного изоморфизма, получаем инвариантность $B_\alpha^{\varphi^{-1}}/B_{\alpha-1}^{\varphi^{-1}}$ в $\mathfrak{G}/B_{\alpha-1}^{\varphi^{-1}}$ и, следовательно, $B_\alpha^{\varphi^{-1}}$ инвариантна в \mathfrak{G} . Таким образом и $B_\gamma^{\varphi^{-1}} = A$ инвариантна в \mathfrak{G} . Но \mathfrak{G}/A — R -группа, структурно-изоморфная \mathfrak{G}^φ/B . Значит, и \mathfrak{G}^φ/B — R -группа, т. е. \mathfrak{G}^φ — R^* -группа.

2) Доказательство этого пункта содержится в предыдущем доказательстве. Непосредственно можно его получить так. В R^* -группе, обладающей возрастающим инвариантным разрешимым рядом, всякая инвариантная изолированная подгруппа является членом некоторого ряда вида (*)⁽⁴⁾. Остальное следует из теоремы 1.

3) $I(K(\mathfrak{G}))^\varphi$ есть инвариантная изолированная подгруппа \mathfrak{G}^φ . Так как $\mathfrak{G}/I(K(\mathfrak{G}))$ — коммутативная группа без кручения, структурно-изоморфная $\mathfrak{G}^\varphi/I(K(\mathfrak{G}))^\varphi$, то и последняя группа коммутативна. Следовательно, $I(K(\mathfrak{G}^\varphi)) \subset I(K(\mathfrak{G}))^\varphi$. При помощи обратного изоморфизма получаем обратное включение.

Теорема доказана.

Поступило
30 IX 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Г. Курош, Теория групп, М., 1944. ² А. Г. Курош, Теория групп, М., 1953. ³ П. Г. Конторович, Матем. сборн., 22 (64), 79 (1948). ⁴ Б. И. Плоткин, Матем. сборн., 30 (72): 1, 197 (1952).

Б. М. УРАЗБАЕВ

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ РОСТА ЧИСЛА АБЕЛЕВЫХ ПОЛЕЙ СТЕПЕНИ l^2

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 9 II 1954)

1. В настоящей заметке рассматриваются абелевы поля типа (l, l) , т. е. поля степени l^2 относительно поля рациональных чисел, являющиеся прямым произведением двух циклических полей простой степени l . Относительно таких полей доказывается следующее:

1°. Дискриминант поля равен *

$$D = (p_1 p_2 \dots p_k)^{l(l-1)},$$

где p_1, p_2, \dots, p_k — простые числа вида $p \equiv 1 \pmod{l}$.

2°. Число полей с одним и тем же дискриминантом D равно

$$\frac{(l+1)^{k-1} - 1}{l} (l-1)^{k-2}.$$

3°. Закон роста числа полей, дискриминанты которых не превосходят $x^{l(l-1)}$, выражается асимптотической формулой

$$xf(\lg x) + O\left(x^{1 - \frac{1}{l^2-1} + \varepsilon}\right), \quad \varepsilon > 0,$$

где $f(y)$ — многочлен l -й степени с постоянными коэффициентами (зависящими от l).

При доказательстве утверждений 1° и 2° используется теорема Фронекера — Вебера: всякое абелево поле относительно поля рациональных чисел может быть вложено в поле деления круга. Опуская доказательство, можно отметить следующее. Строится наименьшее поле деления круга, где содержатся все абелевы поля типа (l, l) с дискриминантом D . Используя аппарат теории Галуа, дается, далее, метод построения групп, гомоморфных группам, к которым принадлежат абелевы поля типа (l, l) в наименьшем поле деления круга. Построение гомоморфных групп осуществляется путем специального выбора базиса абелевых групп. Таким образом, определение числа абелевых полей типа (l, l) с дискриминантом D сопровождается фактическим построением групп, однозначно определяющих сами эти поля.

2. Перейдем к доказательству утверждения 3°. Оно построено на идеях доказательства асимптотического закона распределения простых чисел (1, 2).

Рассмотрим функцию

$$f(s) = \prod_{p \equiv 1 \pmod{l}} \left(1 + \frac{l^2 - 1}{p^s}\right), \quad s = \sigma + it.$$

* Будет предполагаться, что простое число l некритическое.

Из соотношения (см. (5))

$$\prod_{\chi} L(s, \chi) = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^s}\right)^{-g}, \quad fg = l - 1,$$

справедливого для L -функции Дирихле (2) (χ — характеры (mod l))
вытекает

$$f(s) = \left(\prod_{\chi} L(s, \chi)\right)^{l+1} \prod_{p \equiv 1 (l)} \left(1 - \frac{1}{p^s}\right)^{l^2-1} \left(1 + \frac{l^2-1}{p^s}\right) \cdot \left(\prod_{p \not\equiv 1 (l)} \left(1 - \frac{1}{p^s}\right)^g\right)^{l+1} \quad (1)$$

Отсюда по принципу аналитического продолжения следует, что функция $f(s)$ регулярна во всей плоскости, кроме точки $s = 1$, которая есть полюс порядка $l + 1$.

3. В полосе $1/2 \leq \sigma_0 < \sigma < 1$ справедлива оценка

$$|f(s)| = O\left(t^{\left(\frac{1-\sigma}{2} + \varepsilon\right)(l^2-1)}\right). \quad (2)$$

Доказательство вытекает из (1), если только воспользоваться оценкой $L(s, \chi)$ в книге Титчмарша (3) (теорема 11, стр. 29). Из (2) следует

что интеграл $\frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds$ сходится при $a = 1 - \frac{2}{l^2-1} + \varepsilon$, $\varepsilon > 0$

4. Рассмотрим интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds, \quad (3)$$

где Γ — четырехугольник $(a-iT, 2-iT, 2+iT, a+iT)$, $a = 1 - \frac{1}{l^2-1} + \varepsilon$

На контуре Γ подинтегральная функция не имеет особенностей, кроме внутренней точки $s = 1$ — полюса порядка $l + 1$. Нетрудно вычислить вычет этой функции в точке $s = 1$. Составим разложения

$$f(s) = \frac{c_{-l-1}}{(s-1)^{l+1}} + \frac{c_{-l}}{(s-1)^l} + \dots + \frac{c_{-1}}{s-1} + c_0 + c_1(s-1) + \dots \quad (c_{-l-1} \neq 0)$$

$$\frac{1}{s(s+1)} = \frac{1}{2} - \frac{3}{4}(s-1) + \frac{7}{8}(s-1)^2 + \dots,$$

$$x^{s-1} = e^{(s-1) \lg x} = 1 + (s-1) \lg x + \frac{1}{2!} (s-1)^2 \lg^2 x + \dots$$

$$\dots + \frac{1}{l!} (s-1)^l \lg^l x + \dots *$$

Отсюда легко видеть, что вычет $\frac{f(s)}{s(s+1)} x^{s-1}$ есть многочлен $f_1(y)$ степени l относительно $y = \lg x$:

$$\operatorname{Res}_{s=1} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^{s-1} = f_1(\lg x).$$

При $T \rightarrow \infty$ интегралы на отрезках $(a-iT, 2-iT)$, $(2+iT, a+iT)$ стремятся к 0. Следовательно, по теореме Коши находим из (3) при $T \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = x f_1(\lg x) + \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds, \quad (4)$$

$$a = 1 - \frac{2}{l^2-1} + \varepsilon.$$

* Здесь предполагается главное значение $\lg x$.

5. Функция $f(s)$ может быть представлена в форме

$$f(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I(n)}{n^s},$$

$$I(n) = \begin{cases} (l^2 - 1)^k, & \text{если } n = p_1 p_2 \dots p_k, \quad p_i \equiv 1 (l), \\ 0 & \text{если } n \neq p_1 p_2 \dots p_k. \end{cases} \quad (5)$$

Введем функции

$$\varphi(x) = \sum_{n \leq x} I(n), \quad \varphi_1(x) = \int_1^x \varphi(u) du.$$

Очевидно,

$$\frac{\varphi_1(x)}{x} = \sum_{n \leq x} \left(1 - \frac{n}{x}\right) I(n). \quad (6)$$

Интеграл слева в (4) абсолютно сходится и, кроме того, при $\sigma = 2$ равномерно сходится ряд (5); поэтому

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = \sum_{n=1}^{\infty} I(n) \frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{(x/n)^s}{s(s+1)} ds$$

или (см. (1), теорема В, стр. 43)

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{2-i\infty}^{2+i\infty} \frac{f(s)}{s(s+1)} x^s ds = \sum_{n \leq x} \left(1 - \frac{n}{x}\right) I(n). \quad (7)$$

Интеграл справа (4) есть величина порядка $O(x^{1+\alpha})$, поэтому из (4), (6), (7) следует

$$\varphi_1(x) = x^2 f_1(\lg x) + O\left(x^{2 - \frac{2}{l^2-1} + \varepsilon}\right), \quad \varepsilon > 0. \quad (8)$$

Производя обычный переход (см. (1), стр. 83) от оценки (8) для $\varphi_1(x)$ к оценке ее производной $\varphi(x)$, находим

$$\varphi(x) = x f_2(\lg x) + O\left(x^{1 - \frac{1}{l^2-1} + \varepsilon}\right), \quad (9)$$

где $f_2(y)$ — также многочлен степени l .

Присоединяя к асимптотической оценке (9) асимптотическую формулу (4)

$$\psi(x) = \sum_{n \leq x} (l-1)^k = \lambda x + O\left(x^{1 - \frac{1}{l-1} + \varepsilon}\right),$$

приходим к утверждению 3°.

Математический институт
им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
21 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Ингам, Распределение простых чисел, 1936. ² Н. Г. Чудаков, Введение в теорию L -функций Дирихле, 1947. ³ Е. К. Титчмарш, Дзета-функция Римана, 1947. ⁴ Б. Уразбаев, Изв. АН Казахск.ССР, сер. матем. мех., в. 5 (1951). ⁵ Г. Хассе, Лекции по теории чисел, 1953, стр. 260.



А. И. ФЕТ

ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРЕМЫ ЛЮСТЕРНИКА — ШНИРЕЛЬМАНА
О ПОКРЫТИЯХ СФЕР И НЕКОТОРЫХ СВЯЗАННЫХ С НЕЙ ТЕОРЕМ

(Представлено академиком П. С. Александровым 23 II 1954)

Недавно И. И. Гордон ⁽¹⁾ поставил вопрос, остается ли справедливой известная теорема Люстерника — Шнирельмана о покрытиях сфер ⁽²⁾, если в ней заменить отражение относительно центра сферы произвольным инволюционным отображением сферы в себя. Положительный ответ на этот вопрос дается следующей теоремой, представляющей, как нам кажется, интерес еще и в том отношении, что ее формулировка — чисто топологическая (в то время как центральная симметрия — не топологическая операция).

Теорема 1. Пусть S^n есть n -мерная сфера; ϑ — непрерывное отображение S^n в себя, квадрат которого есть тождественное отображение S^n ; $\Sigma = \{F_1, F_2, \dots, F_{n+1}\}$ — покрытие S^n , состоящее из $n+1$ замкнутых множеств. Тогда по крайней мере одно из множеств F_i покрытия Σ пересекается со своим образом при отображении ϑ .

Поскольку теорема 1 очевидна в случае, когда ϑ имеет неподвижную точку, можно считать, что ϑ — гомеоморфизм без неподвижных точек. Отождествление ψ точек $a, \vartheta(a)$ ($a \in S^n$) превращает S^n в топологическое многообразие Π^n , а шар T^{n+1} , имеющий S^n своей границей, — в топологическое многообразие $\hat{\Pi}^{n+1}$. Неизвестно, триангулируемы ли Π^n и $\hat{\Pi}^{n+1}$; вследствие этого приходится пользоваться в доказательстве теорией гомологий в компактах, построенной П. С. Александровым.

Для краткости мы рассмотрим здесь только случай непрерывно дифференцируемого гомеоморфизма ϑ , когда $\Pi^n, \hat{\Pi}^{n+1}$ могут быть триангулированы.

Определим следующую деформацию D_t ($0 \leq t \leq 1$) сферы S^n на себе.

Пусть $a \in S^n$, O — центр S^n , $\overrightarrow{a_t b_t}$ — вектор, параллельный и одинаково направленный с $\overrightarrow{a \vartheta(a)}$, лежащий в плоскости $Oa\vartheta(a)$ по ту же сторону от O , что и $\overrightarrow{a \vartheta(a)}$, и отстоящий от O на расстояние, относящееся к расстоянию от O до $\overrightarrow{a \vartheta(a)}$ как $1-t$ к 1 (если $\overrightarrow{a \vartheta(a)}$ — диаметр S^n , то при всех t , $0 \leq t \leq 1$, полагаем $a_t = a$, $b_t = \vartheta(a)$).

Определим D_t формулами $D_t(a) = a_t$, $D_t(\vartheta(a)) = b_t$. Легко видеть, что D_t — непрерывная деформация S^n на себе; степень D_t равна 1 и $D_1(S^n) = S^n$. Отображение D_1 переводит точки $a, \vartheta(a)$ в диаметрально

но противоположные точки $a', \tau(a')$ сферы S^n , где τ — отображение относительно центра O . Отображение D_1 порождает, следовательно, непрерывное отображение Π^n в проективное пространство P^n . Отображая радиусы Oa линейно на $OD_1(a)$ ($a \in S^n$), получает отображение D_1 шара T^{n+1} на себя, порождающее отображение f топологического многообразия $\hat{\Pi}^{n+1}$ в проективное пространство P^{n+1} . На Π^n отображение f совпадает с ранее определенным отображением. Из того, что степень D_1 на S^n равна 1, легко следует, что индуцируемый f гомоморфизм η групп Бетти $\Delta'(\hat{\Pi}^{n+1})$ в $\Delta'(P^{n+1})$ переводит базисный Δ -класс $z^{n+1} \in \Delta^{n+1}(\hat{\Pi}^{n+1})$ в базисный Δ -класс $v^{n+1} \in \Delta^{n+1}(P^{n+1})$:

$$\eta(z^{n+1}) = v^{n+1}. \quad (1)$$

Обозначим через V^1 базисный одномерный ∇ -цикл P^{n+1} через η^* — сопряженный η гомоморфизм ∇ -кольца P^{n+1} в ∇ -кольцо $\hat{\Pi}^{n+1}$.

Положим

$$V^{n+1} = (V^1)^{n+1}, \quad Z^1 = \eta^*(V^1), \quad Z^{n+1} = (Z^1)^{n+1}.$$

Тогда будет

$$Z^{n+1} = \eta^*(V^{n+1}),$$

и, согласно (1),

$$Z^{n+1} \cdot z^{n+1} = \eta^*(V^{n+1}) \cdot z^{n+1} = V^{n+1} \cdot \eta(z^{n+1}) = V^{n+1} \cdot v^{n+1} = 1.$$

Итак, $Z^{n+1} \underset{\nabla}{\propto} 0$ на $\hat{\Pi}^{n+1}$; значит, длина $\hat{\Pi}^{n+1}$ не меньше $n+1$, откуда вытекает:

Теорема 2. Категория $\hat{\Pi}^{n+1}$ равна $n+2$.

Аналогично доказывается следующая теорема:

Теорема 3. Категория Π^n равна $n+1$.

Теоремы 2 и 3 являются обобщениями известной теоремы Люстерника — Шнирельмана о категории проективного пространства.

Пусть теперь, вопреки утверждению теоремы 1, имеется такое покрытие $S^n = \bigcup_{i=1}^{n+1} F_i$, что ни одно F_i не содержит пары точек $a, \vartheta(a)$. Тогда на F_i отображение ψ гомеоморфно, и существует отображение ψ_i^{-1} множества $\tilde{F}_i = \psi(F_i)$ на F_i , обратное ψ ($i = 1, 2, \dots, n+1$). Так как на S^n F_i гомотопны нулю, то \tilde{F}_i гомотопны нулю на Π^n . Присоединяя к \tilde{F}_i все радиусы Oa , для которых $a \in \tilde{F}_i$, получаем замкнутое множество Φ_i ; ясно, что $\bigcup_{i=1}^{n+1} \Phi_i = \hat{\Pi}^{n+1}$ и что каждое Φ_i гомотопны нулю на $\hat{\Pi}^{n+1}$. Но это несовместимо с теоремой 2, чем теорема 1 доказана.

Следующая теорема обобщает известную теорему Борсука (3).

Теорема 4. Пусть на $(n+1)$ -мерном шаре T^{n+1} с границей S^n задано непрерывное векторное поле Φ без нулевых векторов на S^n , удовлетворяющее условию: в точках $a, \vartheta(a)$ ($a \in S^n$) векторы поля Φ направлены неодинаково. Тогда в шаре T^{n+1} поле Φ имеет нулевые векторы.

Если допустить, что теорема неверна, то можно (ср. (4), стр. 162) построить на T^{n+1} непрерывные функции $\varphi_1, \dots, \varphi_{n+1}$ без общего нуля и такие, что

$$\varphi_j(\vartheta(a)) = -\varphi_j(a) \quad (j = 1, \dots, n+1, a \in S^n). \quad (2)$$

Пусть T_1^{n+1} — $(n+1)$ -мерный шар; отождествив поверхности T^{n+1} и T_1^{n+1} , получим $(n+1)$ -мерную сферу S^{n+1} . Пусть χ — гомеоморфизм S^{n+1} , оставляющий на месте точки S^n , переводящий $T^{n+1} \setminus S^n$ в $T_1^{n+1} \setminus S^n$ и $T_1^{n+1} \setminus S^n$ в $T^{n+1} \setminus S^n$.

Введем на T^{n+1} «полярные координаты» $p(\rho, a)$, где a есть точка пересечения радиуса Op с S^n , а $\rho = \frac{|Op|}{|Oa|}$ ($\rho \neq a$).

Определим на T^{n+1} отображение $\tilde{\vartheta}$, полагая $\tilde{\vartheta}(\rho, a) = (\rho, \vartheta(a))$, $\tilde{\vartheta}(0) = 0$.

Распространим ϑ на всю S^{n+1} , полагая

$$\vartheta(p) = \chi \tilde{\vartheta}(p), \text{ если } p \in T^{n+1};$$

$$\vartheta(p) = \tilde{\vartheta} \chi(p), \text{ если } p \in T_1^{n+1}.$$

ϑ есть инволюционный гомеоморфизм S^{n+1} без неподвижных точек.

Полагая для $a \in T_1^{n+1}$ $\varphi_j(a) = -\varphi_j(\vartheta(a))$, мы распространяем φ_j , $j = 1, \dots, n+1$ на S^{n+1} с сохранением свойства (2).

Пусть теперь Φ_i ($i = 1, \dots, n+1$) — множество тех $p \in S^{n+1}$, для которых некоторая $\varphi_j(p) \geq \alpha$ ($\alpha > 0$); Φ_{n+2} — множество тех $p \in S^{n+1}$, для которых все $\varphi_j(p) \leq \alpha$ ($j = 1, \dots, n+1$). Так как φ_j удовлетворяют (2) и не имеют общих нулей, при достаточно малых $\alpha > 0$ покрытие $\Phi_1, \dots, \Phi_{n+2}$ таково, что ни одно Φ_j не содержит пары точек $p, \vartheta(p)$. Но это противоречит теореме 1 (где надо взять $n+1$ вместо n).

Из теоремы 4 следует, что «задача А» М. А. Красносельского ((⁴), стр. 163) имеет положительное решение в случае, когда оператор L инволюционный.

Наконец, мы обобщим еще другую теорему Борсука:

Теорема 5. Пусть f — непрерывное отображение сферы S^n в евклидово пространство E^n . Существует по крайней мере одна точка $a \in S^n$ такая, что $f(a) = f(\vartheta(a))$.

Допустим, что утверждение теоремы неверно. Введем в E^n декартовы координаты x^1, \dots, x^n ; задание отображения f равносильно заданию n функций $x_j = \varphi_j(a)$ на S^n таких, что ни для какой точки $a \in S^n$ не выполнены все равенства $\varphi_j(a) = \varphi_j(\vartheta(a))$. Продолжим функции φ_j на весь шар $T^{n+1} \subset E^{n+1}$, имеющий S^n своей границей, и определим на T^{n+1} непрерывное векторное поле, сопоставляя каждой точке $a \in T^{n+1}$ вектор с проекциями $\varphi_1(a), \dots, \varphi_n(a)$, 1. Полученное векторное поле удовлетворяет условиям теоремы 4, но не имеет нулей в T^{n+1} , что невозможно.

Могут быть обобщены и некоторые другие теоремы из круга вопросов, связанных с теоремой 1.

Поступило
21 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. И. Гордон, Усп. матем. наук, 8, в. 5, 151 (1953). ² Л. А. Люстерник, Л. Г. Шнирельман, Топологические методы в вариационных задачах, М., 1930. ³ К. Borsuk, Fund. Math., 20 (1953). ⁴ М. А. Красносельский, Усп. матем. наук, 6, в. 5, 162 (1951).

С. В. ЯБЛОНСКИЙ

**О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЛНОТЕ
В ТРЕХЗНАЧНОМ ИСЧИСЛЕНИИ**

(Представлено академиком М. В. Келдышем 29 I 1954)

В алгебре логики изучаются функции, определенные на множестве из двух элементов и принимающие значения на этом же множестве. Одним из важнейших вопросов алгебры логики является вопрос о возможности сведения изучения сложных функций к изучению стандартных «элементарных» функций, т. е. о возможности представления сложных функций посредством суперпозиций (взятие конечное число раз функций от функций и замен переменных) «элементарных» функций.

В работе ⁽¹⁾ Пост рассматривает замкнутые относительно применения операции суперпозиции классы функций и попутно выясняет, каким необходимым и достаточным условиям должна удовлетворять система функций алгебры логики, чтобы из нее можно было получить любую функцию алгебры логики (проблема полноты). Не зная работы Поста, автор ⁽²⁾ получил из других соображений решение этой проблемы.

Подобный круг задач возникает для функций, определенных на множестве из k элементов и принимающих значения на этом же множестве. Здесь следует отметить результаты А. В. Кузнецова, сообщенные автору без доказательства, которые состоят в том, что из всякой полной системы функций можно выделить полную систему, но состоящую из конечного числа функций, а также, что существует алгоритм, позволяющий установить, полна или не полна данная система функций.

В настоящей заметке сообщаются некоторые результаты, относящиеся к полноте k -значного исчисления, в частности дается решение этого вопроса для трехзначного исчисления.

Для формулировки результата введем ряд определений и обозначений.

Пусть P_k обозначает совокупность всех функций $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$, аргументы которых определены на множестве $E^k = \{0, 1, \dots, k-1\}$ и таких, что $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \in E^k$, когда $\alpha_i \in E^k$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Будем считать, что вместе с функцией $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ заданы все функции, которые получаются из данной путем добавления или зачеркивания любого конечного числа фиктивных переменных, т. е. переменных, от которых функция не зависит существенным образом.

Пользуясь индукцией, дадим следующее определение суперпозиции системы функций

$$\Phi_1(x_{11}, \dots, x_{1n_1}), \dots, \Phi_s(x_{s1}, \dots, x_{sn_s}). \quad (*)$$

Определение. Суперпозицией функций системы $(*)$ называется:
а) любая функция, которая получается из функций системы $(*)$ путем замены переменных;

б) если уже определено, что функции

$$\Phi^{y-1}(x_1^{y-1}, \dots, x_p^{y-1}), \Phi_1^{y-1}(x_{11}^{y-1}, \dots, x_{1m_1}^{y-1}), \dots, \Phi_l^{y-1}(x_{l1}^{y-1}, \dots, x_{lm_l}^{y-1}) \quad (l \leq p)$$

являются суперпозициями функций системы (*), то любая функция, которая получается путем замены переменных из функции

$$\Phi^{y-1}[\Psi_{i_1}^{y-1}(x_{i_1 1}^{y-1}, \dots, x_{i_1 m_{i_1}}^{y-1}), \dots, \Psi_{i_p}^{y-1}(x_{i_p 1}^{y-1}, \dots, x_{i_p m_{i_p}}^{y-1})],$$

где $\Psi_{i_\mu}^{y-1}(x_{i_\mu 1}^{y-1}, \dots, x_{i_\mu m_{i_\mu}}^{y-1})$ либо $\equiv \Phi_{i_\mu}^{y-1}(x_{i_\mu 1}^{y-1}, \dots, x_{i_\mu m_{i_\mu}}^{y-1})$ либо $\equiv x_\mu^{y-1}$.

Определение. Класс функций из P_k называется (функционально) замкнутым, если вместе со всякой системой функций $\Phi_1(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n_1}), \dots, \Phi_s(y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sn_s})$ этому классу принадлежит и любая их суперпозиция.

Определение. Система функций из P_k называется полной (в P_k), если каждая функция из P_k является суперпозицией функций этой системы.

Определение. Функция $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \in P_k$ называется линейной, если имеет место представление

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \bmod k, \quad \text{где } a_i \in E^k \\ (i = 1, 2, \dots, n).$$

Пусть L^k обозначает множество всех линейных функций из P_k .

Определение. Функция $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \in P_k$ называется самодвойственной относительно $s(x)$, где $s(x)$ — подстановка k чисел множества E^k , если имеет место тождество

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = s^{-1}[\Phi(s(x_1), s(x_2), \dots, s(x_n))].$$

Обозначим через $S_{s(x)}^k$ множество всех самодвойственных относительно $s(x)$ функций из P_k . Пусть $<_i$ — отношение порядка во множестве E^k .

Определение. Функция $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \in P_k$ называется монотонной относительно $<_i$, если $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \leq_i \Phi(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, когда $\alpha_m \leq_i \beta_m$ ($m = 1, 2, \dots, n$).

Обозначим через M_i^k множество всех монотонных относительно $<_i$ функций из P_k .

Пусть $E^k = E_0 + E_1$, $E_0 \cdot E_1 = N$ (пустое множество) и s — число элементов множества E_1 .

Определение. Будем говорить, что функция $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ из P_k принадлежит множеству $T_{E_0, s}^k$, если, какова бы ни была система подмножеств множества E^k G_1, G_2, \dots, G_n , каждое из которых состоит ровно из s элементов, найдется подмножество $G \subset E^k$, состоящее также из s элементов, так, что когда $\alpha_1 \in E_0 + G_1, \alpha_2 \in E_0 + G_2, \dots, \alpha_n \in E_0 + G_n$, $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \in E_0 + G$.

Пусть $E^k = E_1 + E_2 + \dots + E_s$ ($s \geq 2$), где множества E_i попарно не пересекаются.

Определение. Будем говорить, что функция $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ из P_k принадлежит множеству $U_{E_1, E_2, \dots, E_s}^k$, если, какова бы ни была система подмножеств множества E^k E'_1, E'_2, \dots, E'_n , где $E'_i = E_{l_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), найдется такое множество E_l , что когда $\alpha_1 \in E'_1, \alpha_2 \in E'_2, \dots, \alpha_n \in E'_n$, $\Phi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \in E_l$.

Легко видеть, что построенные классы функций — замкнутые. Введем вспомогательные обозначения: $<_1$ для соотношения порядка $1 <_1 2$; $<_2$ для соотношения порядка $1 <_2 2 <_2 0$ и $<_3$ для соотношения порядка $2 <_3 0 <_3 1$. Положим $\varepsilon_{ij} = \{i, j\}$, $\varepsilon_i = \{i\}$.

Теорема. Для того чтобы система функций из P_3 была полной, необходимо и достаточно, чтобы она не содержалась целиком ни в одном из следующих классов: L^3 , M_1^3 , M_2^3 , M_3^3 , S_{x+1}^3 , N_2^3 , $T_{\varepsilon_{01}, 0}^3$, $T_{\varepsilon_{02}, 0}^3$, $T_{\varepsilon_{12}, 0}^3$, $T_{\varepsilon_0, 0}^3$, $T_{\varepsilon_1, 0}^3$, $T_{\varepsilon_2, 0}^3$, $T_{\varepsilon_0, 1}^3$, $T_{\varepsilon_1, 1}^3$, $T_{\varepsilon_2, 1}^3$, $U_{\varepsilon_{01}, \varepsilon_2}^3$, $U_{\varepsilon_{02}, \varepsilon_1}^3$, $U_{\varepsilon_{12}, \varepsilon_0}^3$. Из всякой полной системы функций (из P_3) можно выбрать конечную систему функций, состоящую не более чем из 18 функций также полную.

Доказательство теоремы опирается на понятие гомоморфизма и изоморфизма для систем функций и основную лемму.

Будем говорить, что система \mathfrak{F} функций f гомоморфно отображена на систему \mathfrak{D} функций g , когда выполнены два условия: 1) каждой функции $f(x_1, \dots, x_n) \in \mathfrak{F}$ соответствует одна и только одна функция $g(y_1, \dots, y_n) \in \mathfrak{D}$ (зависящая от того же числа переменных); 2) если функциям $f(x_1, \dots, x_n)$, $f_1(x_{11}, \dots, x_{1i_1}), \dots, f_n(x_{n1}, \dots, x_{ni_n})$ из \mathfrak{F} соответствуют из системы \mathfrak{D} функции $g(y_1, \dots, y_n)$, $g_1(y_{11}, \dots, y_{1i_1}), \dots, g_n(y_{n1}, \dots, y_{ni_n})$, причем $f(f_1, \dots, f_n) \in \mathfrak{F}$, то функции $f(f_1, \dots, f_n)$ соответствует принадлежащая системе \mathfrak{D} функция $g(g_1, \dots, g_n)$.

Если система \mathfrak{F} отображена на систему \mathfrak{D} так, что имеет место гомоморфизм в обе стороны, то системы \mathfrak{F} и \mathfrak{D} называются изоморфными.

Лемма. Пусть $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \in P_k$ ($k \geq 3$) существенно зависит более чем от одного переменного и принимает $l \geq 3$ значений; тогда найдутся такие подмножества G_i ($i = 1, 2, \dots, n$) множества E^k , состоящие каждое не более чем из двух элементов, что на наборах $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$, где $\alpha_i \in G_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ принимает по крайней мере 3 значения*.

Теорема Кузнецова, о которой говорилось в начале заметки, может быть получена, опираясь на некоторые идеи Поста и сформулированные выше лемму и гомоморфизм функций. Однако, как сообщил Кузнецов, этот результат легко получается из существования функций типа Шеффера в P_k . Полная подсистема функций, получаемая при непосредственном применении теоремы Кузнецова, уже для $k = 3$ имеет мощность, вообще говоря, значительно большую, чем 18, и, тем более, чем мощность минимальной полной подсистемы.

Математический институт
им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
28 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ E. L. Post, The Two-Valued Iterative Systems of Mathematical Logic, Princeton — London, 1941. ² С. В. Яблонский, Матем. сборн., **30** (72), 2, 329 (1952).

* Эта лемма справедлива и для случая, когда E^k имеет бесконечную мощность

С. Б. ПИКЕЛЬНЕР

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ ТУМАННОСТЕЙ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 15 II 1954)

При помощи небулярного спектрографа (описание и методику обработки см. ⁽¹⁾) получены спектры волокнистых туманностей в созвездии Лебедь. Относительные интенсивности основных линий даны в табл. 1. Для спектра характерна низкая степень ионизации в сочетании с сравнительно большой относительной интенсивностью запрещенных линий. Эта особенность сближает волокнистую туманность с волокнами крабовидной туманности ⁽²⁾. Цель работы — рассмотреть количественно гипотезу Оорта ⁽³⁾, согласно которой свечение этих туманностей возбуждается при распространении в межзвездном газе ударной волны, вызванной движением оболочки сверхновой, вспыхнувшей несколько десятков тысяч лет назад.

Изменение состояния газа при адиабатическом пересечении фронта волны хорошо изучено ^(4,5). Сильная ударная волна увеличивает плотность одноатомного межзвездного газа в 4 раза, температура T сжатого газа определяется равенством

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m_H v^2, \quad (1)$$

где v — скорость сжатого газа относительно межзвездной среды. Скорость фронта в той же системе отсчета $V = \frac{4}{3} v$. Если газ частично ионизован, то высокую температуру при прохождении ударной волны приобретает сначала тяжелые частицы, так как скорость направленного движения в волне мала сравнительно с тепловыми скоростями электронов. Последние получают энергию от столкновений с атомами и ионами, причем взаимодействие с ионами значительно эффективнее. Рассчитанную на 1 ион и 1 электрон величину энергии, приобретаемой электронами от ионов E_{ie} в 1 сек., можно оценить, исходя из среднего пути релаксации электрона в плазме ⁽⁶⁾

$$l_{ee} \approx \frac{(kT)^2}{e^4 n_e L}, \quad (2)$$

где L в условиях межзвездного газа ≈ 40 , и из того факта, что путь релаксации электрона среди ионов l_{ei} в m_H/m раз больше. Очевидно, что

$$n_i n_e E_{ie} \approx \frac{v_e}{l_{ee}} \frac{m}{m_H} \frac{3}{2} n_e k (T_i - T_e) = 10^{-17} n_{Hn} n_e T_e^{-9/2} (T_i - T_e). \quad (3)$$

Приобретаемая от ионов энергия расходуется электронами на возбуждение и ионизацию водорода, гелия и других элементов. Энергию, расходуемую на возбуждение и ионизацию водорода, рассчитанную на 1 электрон и 1 нейтральный атом, можно записать в виде

$$\varphi(T_e) = \sum_{n=2}^{\infty} F_{1n} \chi_{1n} + Z_1 \chi_1,$$

где F_{1n} — число возбуждений уровня n , а Z_1 — число ионизаций.

Эти величины были вычислены для различных T_e в (7). Аналогичные функции были вычислены нами для гелия ($\Phi(T_e)$) и для O, N, ($\psi(T_e)$). Последняя функция имеет значение при сравнительно низких температурах. Помимо возбуждения и ионизации энергия расходуется на ускорение образовавшихся при ионизации медленных электронов до средней энергии.

Электронная температура определяется уравнением

$$\frac{3}{2} k \frac{dT_e}{n_H dt} = x E_{ie} - (1-x) \left[\varphi(T_e) + \frac{3}{2} k Z_1 T_e \right] - 0,2(1-y) \Phi(T_e) - \psi(T_e) \quad (4)$$

Здесь x и y — соответственно, степень ионизации H и He; n_H — концентрация атомов H; относительное число атомов He принято равным 0,2; обилия O, N и S включены в $\psi(T_e)$. Температура ионов и нейтральных атомов (полная концентрация равна n_H) и величины x и y определяются уравнениями

$$\frac{2}{3} k \frac{dT_i}{n_H dt} = -x^2 E_{ie}; \quad (5)$$

$$\frac{dx}{n_H dt} = (1-x) Z_1 - x C_H; \quad (6)$$

$$\frac{dy}{n_H dt} = (1-y) Z_1 - y C_{He}, \quad (7)$$

где C — вероятность рекомбинации на все уровни для соответствующего иона. Система (4) — (7) интегрировалась численно с начальными значениями $x = 0,01$, $y = 0$, соответствующими области NI. $T_i^{(0)}$ задавалась как параметр, $T_e^{(0)}$ определялось из (4) при условии, что левая часть мала сравнительно с основными членами.

Плотность непосредственно в расчет не входит и определяет только шкалу времени.

Интегрирование показало, что при $T_i^{(0)} = 400\,000^\circ$ и $T_i^{(0)} = 450\,000^\circ$ ($v \approx 100$ км/сек.) x в максимуме достигает, соответственно, 45 и 65%. Ионизация кислорода и других элементов определяется системой уравнений

$$\frac{d\left(\frac{n_3}{n}\right)}{n_H dt} = \frac{n_2}{n} x Z_2(T_e) - \frac{n_3}{n} x C_2(T_e), \quad \frac{d\left(\frac{n_1}{n}\right)}{n_H dt} = -\frac{n_1}{n} x Z_1(T_e) + \frac{n_2}{n} x C_1(T_e), \quad (8)$$

$$n_1 + n_2 + n_3 = n,$$

где функции Z и C вычислялись для каждого элемента. Предполагалось, что в начальный момент элементы находятся в состояниях O I и II. Расчет показал, что в состояние O III перейдут, соответственно, 0,3 и 0,6% атомов O, что не согласуется с наблюдениями (наличие [O III]). Проведен расчет для $T_i^{(0)} = 850\,000^\circ$ ($v = 144$ км/сек.), результаты представлены на рис. 1. Сначала, пока x мало, мало и взаимодействие между электронами и ионами, поэтому T_e сравнительно низка. Во время процесса идут сначала медленно, но постепенно ускоряются по мере роста x , пока не истощится запас энергии тяжелых частиц. После этого температура падает. Ионизация водорода и других элементов падает гораздо медленнее.

Излучение всего газа за фронтом волны определяется суммой излучений всех слоев с различной температурой, ионизацией водорода и рассматриваемых элементов.

С эффективными сечениями, данными в (8), была вычислена интенсивность излучения в линиях [O II], [O III], [N II] и [S II] при различных

емпературах, рассчитанная на 1 электрон и 1 атом водорода, с учетом одержания этих элементов. Последнее было перевычислено по данным⁽⁹⁾ с новыми сечениями. Если обозначить эту величину через U , то интенсивность излучения волны в линии

$$I = \int U n_{\text{H}}^2 x \frac{n_i}{n} ds = (V - v) n_{\text{H}} \sec \vartheta \int U x \frac{n_i}{n} n_{\text{H}} dt. \tag{9}$$

Так же рассчитывается интенсивность H_{β} , складывающаяся из составляющей, возбуждаемой столкновениями, и из рекомбинационного

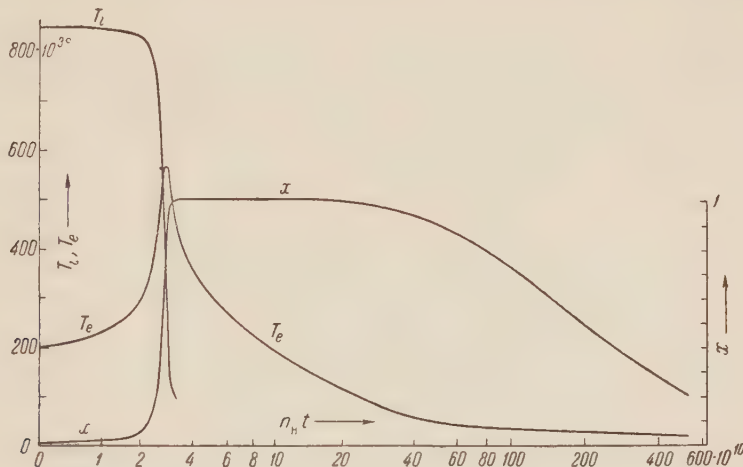


Рис. 1. Физические условия за фронтом волны

излучения. Она равна в данном случае $2 \cdot 10^{-7} n_{\text{H}} \sec \vartheta$ эрг/см²·сек·стерад, причем обе составляющие примерно равны. Относительные интенсивности линий даны в табл. 1.

Учитывая возможные ошибки наблюдений (особенно для слабой H_{β}), где усредняется излучение разных волокон с разным спектром, и неточность расчета, согласие в общем приемлемо. При несколько меньшей $T_i^{(0)}$, как показывает оценка, оно было бы лучше для всех линий.

Абсолютная интенсивность H_{β} путем редукций получена из⁽¹⁰⁾: $I_{\beta} \approx 10^{-4}$ эрг/см²·сек·стерад. Отсюда $n_{\text{H}} \sec \vartheta \approx 500$. Концентрация в межзвездных газовых облаках ≈ 20 см⁻³, при сжатии в 4 раза концентрация будет недостаточна.

Время сжатия, определяемое перемещением фронта на несколько длин свободного пробега, в 30 раз меньше времени охлаждения, определяемого из рис. 1, поэтому сжатие должно мало отклоняться от адиабатического. Кроме того, можно показать, что свечение зависит от плотности газа перед фронтом $n_{\text{H}}^{(0)}$, а не от характера сжатия, так как $n_{\text{H}}(V - v) = n_{\text{H}}^{(0)} V$. Вторая трудность модели с одной волной — необъяснимость волокнистой структуры.

Введем гипотезу, что свечение возбуждается при пересечении двух ударных волн. Вторая волна входит в частично ионизованный холодный

Таблица 1

	Одна волна	Две волны			Наблюдения
	$T_i^{(0)}$ в град.				
	850	380 000	400 000	450 000	
SII	1	2,3	1,9	1,2	2,8
NI	1	2,6	2,3	1,3	2,8
OIII	5	0,8 ⁴	1,6	7,4	4,7
OII	9	11,8	15,1	12,4	25
H_{β}	1	1	1	1	1

и уплотненный газ и производит вторичное уплотнение и нагрев. Состояние газа описывается теми же системами уравнений (4)–(8) но с другими начальными условиями, определяемыми первой волной. Интегрирование проведено для различных $T_i^{(0)}$, один случай ($T_i^{(0)} = 400\,000^\circ$) представлен на рис. 2. Ионизация элементов определялась

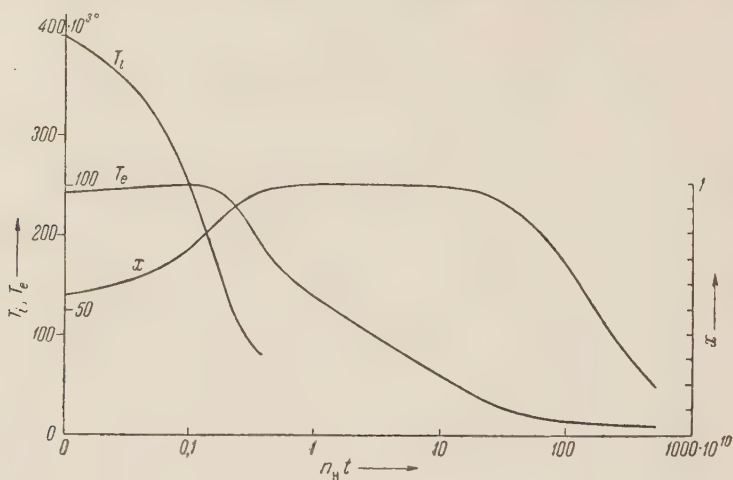


Рис. 2. Пересечение двух волн

с учетом действия обеих волн. Вычисленные относительные интенсивности даны в табл. 1. При $T_i^{(0)}$ от 400 000 до 450 000° ($v = 100$ км/сек.) в согласии с наблюдениями удовлетворительное. Интенсивность $I_p \approx 10^{-7} n_H \text{ sec } \vartheta$, причем возбуждение столкновениями дает $1/3$ полного излучения. Отсюда $n_H \text{ sec } \vartheta \approx 10^3$ и n_H — несколько сотен атомов на 1 см^3 . Область свечения должна быть локализована вдоль линии пересечения фронтов. Толщина ее определяется временем затухания свечения ($t = 200 \cdot 10^{10} n_H^{-1}$ из рис. 2) и равна $(V - v)t \approx 1 - 2 \cdot 10^{16} \text{ см}$, что близко к толщине волокон. Можно предложить как гипотезу следующий механизм образования пересечений волн. Скорость волны зависит от плотности газа перед фронтом⁽⁵⁾, каждая неоднородность должна деформировать фронт, в результате чего при некоторых условиях может осуществиться пересечение соседних участков.

Выводы. Ударная волна в межзвездном газе может вызвать свечение, по спектральному составу близкое к волокнистым туманностям. Для объяснения абсолютной интенсивности нужен или необычно плотный межзвездный газ или пересечение двух волн. В последнем случае светящаяся область будет иметь форму волокна.

Крымская астрофизическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Б. Пикельнер, Изв. Крымск. астрофиз. обс., **11**, 80 (1953). ² R. Minowski, *Ap. J.*, **96**, 199 (1942). ³ J. H. Oort, *M. N.*, **106**, 159 (1946). ⁴ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Механика сплошных сред*, 1944, стр. 286. ⁵ И. Бургерс, *Проблемы космической аэродинамики*, ИЛ, 1953, стр. 75, 122. ⁶ Л. Д. Ландау, *ЖЭТФ*, **7**, 203 (1937). ⁷ С. А. Каплан, С. И. Гопасюк, *Циркуляры Львовск. астр. обс.*, № 25 (1953). ⁸ M. J. Seaton, *Proc. Roy. Soc., A* **218**, 400 (1953). ⁹ Д. Мензел и др. *Физические процессы в газовых туманностях*, ИЛ, 1948. ¹⁰ J. Chamberlain, *Ap. J.*, **117**, 387, 399 (1953).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. А. КИСЕЛЕВ и О. А. ЛАДЫЖЕНСКАЯ

**О РЕШЕНИИ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ УРАВНЕНИЙ ПЛОСКОГО
НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ
НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 19 II 1954)

Указанному в заглавии работы вопросу посвящен ряд исследований⁽¹⁻⁵⁾ (см. также^(6,7)). Во всех этих работах для решения задачи используется фундаментальный сигнулярный тензор, при помощи которого задача сводится к исследованию интегральных уравнений, подобно тому как это делается в теории потенциала. Мы решаем ее при помощи разложения по собственным элементам соответствующего задаче дифференциального оператора. Кроме того, исследуем поведение решения при $t \rightarrow \infty$. Исследования решения при $t \rightarrow \infty$ для внешней задачи были проведены лишь в задачах обтекания круга и сферы с использованием представления решения через специальные функции^(8,9).

Мы рассматриваем две задачи: 1) движение в односвязной конечной области и 2) обтекание конечной области, считая известным начальное распределение скоростей \mathbf{v}_0 и значение \mathbf{v} на границе области. Как известно, эти задачи могут быть сведены к определению одной функции $\psi(x_1, x_2, t)$, удовлетворяющей уравнению

$$L\psi \equiv \frac{\partial \Delta \psi}{\partial t} - \Delta^2 \psi = 0 \quad *, \quad (1)$$

начальному условию

$$\psi|_{t=0} = \psi_0(x_1, x_2) \quad (2)$$

и граничным условиям

$$\psi|_S = \frac{\partial \psi}{\partial n}|_S = 0. \quad (3)$$

Во второй задаче требуется еще «выравнивание потока на ∞ », т. е. $\mathbf{v} \rightarrow \mathbf{v}_\infty = (a, b)$ при $r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \rightarrow \infty$. Это накладывает на ψ условие, чтобы при $r \rightarrow \infty$ ψ стремилось к функции $-bx_1 + ax_2$. Ниже будет детализировано, в каком смысле принимается это предельное значение на бесконечности.

Наконец, заметим, что по функции ψ мы должны будем в дальнейшем определить давление из соотношения $\text{grad } p = \Delta \mathbf{v} - \mathbf{v}_t$ как однозначную функцию (X, t) . Для этого надо, чтобы для любого замкнутого контура l , лежащего в нашей области,

$$\int \left(\frac{\partial \Delta \psi}{\partial n} - \frac{\partial \psi_t}{\partial n} \right) dS = 0, \quad (4)$$

где $\partial / \partial n$ — дифференцирование по нормали к l .

* Мы ограничились здесь однородным уравнением лишь ради краткости изложения.

Решение задачи (1), (2), (3) для конечной области ищем в виде ряда Фурье

$$\psi = \sum_{k=1}^{\infty} c_k e^{-\lambda_k t} \varphi_k(X), \quad (5)$$

где φ_k — все собственные функции уравнения

$$\Delta^2 \varphi_k = -\lambda_k \Delta \varphi_k \quad (6)$$

с граничными условиями (3). Нахождение системы функции φ_k , установление ее полноты, доказательство положительности всех λ_k проще всего получить, исходя из задачи об определении минимума функционала

$$(\Delta \varphi, \Delta \varphi) \equiv \int_{\Omega} (\Delta \varphi)^2 d\Omega = \int_{\Omega} \sum_{i,j=1}^2 \varphi_{x_i x_j}^2 d\Omega \quad (7)$$

среди функций, подчиненных условиям (3) и условию

$$\|\varphi\|^2 \equiv [\varphi, \varphi] = \int_{\Omega} \text{grad}^2 \varphi d\Omega = 1. \quad (8)$$

Система φ_k будет полна в пространстве функции $\overset{0}{D}(\Omega)$ с нормой (8) и в пространстве H_{Δ} функций, подчиненных условиям (3), с нормой (7). Доказывается, что определяемые из вариационной задачи функции φ_k имеют внутри Ω производные всех порядков, удовлетворяют уравнению (6), принадлежат пространству $W_2^2(\Omega)$ и удовлетворяют условиям (3).

Коэффициенты c_k в ряде (5) равны

$$c_k = [\psi_0, \varphi_k], \quad \sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 \leq [\psi_0, \psi_0].$$

Если $\psi_0 \in \overset{0}{D}(\Omega)$, то ряд (5) и ряды, полученные его почленным дифференцированием по x_i и t любое число раз, сходятся равномерно в цилиндре $Q' = \Omega' \times [\varepsilon, T]$, где $\varepsilon > 0$, а Ω' — любая внутренняя подобласть Ω . Начальное же значение ψ_0 принимается «в среднем» — в норме (8). Далее, при $t > 0$ ряд (5) сходится в норме (7), и потому сумма его удовлетворяет (3). Если потребуем, например, чтобы $\psi_0 \in H_{\Delta}$, то ряд (5) будет сходиться в норме (7) при любом $t \geq 0$ (это гарантирует равномерную сходимость ряда в Q).

Условие (4) будет выполняться при $t > 0$, так как наша область Ω односвязна и

$$0 = \int_{\Omega_l} (\Delta \psi_t - \Delta^2 \psi) d\Omega = \int_l \left(\frac{\partial \psi_t}{\partial n} - \frac{\partial \Delta \psi}{\partial n} \right) dS,$$

где Ω_l — часть Ω , ограниченная l . Наконец, из ряда (5) видно, что при $t \rightarrow \infty$ $\psi \rightarrow 0$ по крайней мере как $e^{-\lambda_1 t}$. Нетрудно сформулировать теоремы единственности в различных функциональных классах.

Переходим ко второй задаче, являющейся для нас основным объектом исследования. Потребуем, чтобы ψ_0 имела обобщенные производные до четвертого порядка, квадратично суммируемые в любой конечной части Ω , удовлетворяла бы условиям (3) и условиям

$$\Delta \psi_0 \Big|_S = \frac{\partial \Delta \psi_0}{\partial n} \Big|_S = \frac{\partial \Delta \psi_0}{\partial n} \Big|_{C_n} = 0, \quad (9)$$

где C_n — последовательность безгранично расширяющихся гладких кривых, и чтобы интегралы

$$(\Delta\psi_0, \Delta\psi_0), [\Delta\psi_0, \Delta\psi_0], (\Delta^2\psi_0, \Delta^2\psi_0)$$

были конечны*. Решение задачи (1), (2), (3) ищем в виде $\psi = u + \psi_0$. Тогда для определения u имеем:

$$Lu = \Delta^2\psi_0, \quad (1')$$

условия (3) и

$$u|_{t=0} = 0. \quad (2')$$

Это решение и будем искать в классе F функций $v(X, t)$, обладающих следующими свойствами: они имеют обобщенные производные до второго порядка, причем сами функции v и v_t квадратично суммируемы по $Q_1 = \Omega_1 \times [0, T]$, где Ω_1 — любая конечная часть Ω ; v_{x_i} , $v_{x_i x_j}$ и $v_{x_i t}$ квадратично суммируемы по $Q = \Omega \times [0, T]$; на границе $S \times [0, T]$ они удовлетворяют условиям (3). Искомое обобщенное решение u должно принадлежать классу F , удовлетворять условию (2') и интегральному тождеству

$$\int_0^T \{[u_t, \Phi] + (\Delta u + \Delta\psi_0, \Delta\Phi)\} dt = 0 \quad (10)$$

для любой $\Phi \in F$.

Интегральное тождество (10) заменяет уравнение (1'). При наложенных выше ограничениях на ψ_0 функция u будет обладать производными по x_i четвертого порядка и производными $n_{x_i x_j t}$ квадратично суммируемыми по Q' , так что из (10) будет следовать для u справедливость равенства (1').

Имеет место теорема единственности обобщенного решения. Действительно, положив в (10) $\Phi = u$ и $\psi_0 \equiv 0$, получим

$$\int_0^T \left\{ \frac{1}{2} \frac{d}{dt} [u, u] + (\Delta u, \Delta u) \right\} dt = 0,$$

откуда $u_{x_i} \equiv 0$ и, в силу (3), $u \equiv 0$.

Обобщенное решение u мы найдем как предел при $n \rightarrow \infty$ решений u_n уравнения (1'), определяемых в $Q_n = \Omega_n \times [0, T]$, где Ω_n есть часть Ω , заключенная внутри C_n . На S u_n подчинены условиям (3), на C_n они должны удовлетворять условиям

$$\frac{\partial u_n}{\partial n} \Big|_{C_n} = \frac{\partial \Delta u_n}{\partial n} \Big|_{C_n} = 0, \quad (11)$$

а при $t = 0$ $u_n = 0$.

Функции u_n найдем в виде ряда Фурье

$$u_n = \sum_{k=1}^{\infty} \beta_{k,n} \frac{1 - e^{-\lambda_{k,n} t}}{\lambda_{k,n}} \varphi_{k,n},$$

* Все эти условия на ψ_0 выполняются, например, в том практически важном случае, когда $\vec{v}_0 = \text{const}$ для достаточно больших r и вблизи S .

где $\varphi_{k,n}$ удовлетворяют (6), (3), (11), а $\beta_{k,n} = -(\Delta^2 \psi_0, \psi_{k,n})$. Для всех u_n устанавливаются неравенства

$$\int_0^T \int_{\Omega_n} \text{grad}^2 u_n d\Omega \leq \int_0^T dt \int_0^t (\Delta \psi_0, \Delta \psi_0) dt,$$

(12)

$$\begin{aligned} & \int_1^T \int_{\Omega_n} \{(\Delta u_n)^2 + (\Delta u_{nt})^2 + \text{grad}^2 u_{nt} + (\Delta^2 u_n)^2\} d\Omega dt \leq \\ & \leq \int_0^T \{(\Delta \psi_0, \Delta \psi_0) + [\Delta \psi_0, \Delta \psi_0] + 2(\Delta^2 \psi_0, \Delta^2 \psi_0)\} dt. \end{aligned}$$

Из этих неравенств выводятся необходимые оценки для производных u_n до четвертого порядка, которые позволяют утверждать существование подпоследовательности u_{n_k} , сходящейся в соответствующих нормах к некоторой функции u . Доказывается, что u есть искомого обобщенное решение*.

Заметим, что тождество (10) устанавливается сначала для функций Φ , равных нулю вблизи S и постоянных для больших r . Доказав затем, что множество таких функций плотно в $D^0(\Omega)$ в норме (8), устанавливаем справедливость (10) для всех $\Phi \in F$. Вследствие выбора граничных условий (11) полученное решение u определяет функцию $\psi = u + \psi_0$, удовлетворяющую всем условиям задачи, в том числе и условию (4).

Если мы потребуем, чтобы $[\psi_0, \psi_0] < \infty$, то из тождества (10) можем получить

$$\frac{1}{2} [\psi, \psi]_{t=0}^{t=\infty} + \int_0^\infty \int_{\Omega} \sum_{i,j=1}^2 \psi_{xi}^2 dx_j dt = 0,$$

откуда, вспоминая условия (3), уже нетрудно сделать вывод о стремлении ψ к нулю при $t \rightarrow \infty$.

Ленинградский государственный
педагогический институт

Поступило
31 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. W. Oseen, Hydrodynamik, Leipzig, 1927. ² F. K. G. Odqvist, Math. Zs., **32**, 329 (1930). ³ F. K. G. Odqvist, Ark. f. matem., astron. och. fysik, **22** A, No. 28 (1930—1932). ⁴ J. Leray, J. de math. pures et appl., **12**, Fasc. 1 (1933). ⁵ J. Leray, ibid., **12**, Fasc. 4 (1934). ⁶ Д. Е. Долидзе, Прикладн. мат. и мех., **11**, № 2 (1947). ⁷ Д. Е. Долидзе, там же, **12**, № 2 (1948). ⁸ Б. В. Русанов, ДАН, **89**, № 6 (1953). ⁹ Б. В. Русанов, ДАН, **90**, № 1 (1953).

* В силу единственности обобщенного решения вся последовательность u_n сходится к u .

М. А. БЛОХИН

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ
НА РЕНТГЕНОВСКИЙ К-СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ ТИТАНА
В ТИТАНАТАХ БАРИЯ И СВИНЦА**

(Представлено академиком А. А. Лебедевым 27 I 1954)

Настоящее исследование выполнено при экспериментальных условиях, описанных в предыдущей работе автора (1). Для нагревания образцов был изготовлен нагреватель, состоящий из медной пластины с прямоугольным окошком для прохода лучей. Окошко закрывалось поглотителем, представлявшим собою коллодиевую пленку с домешанным в нее порошком исследуемого вещества. Пленка изготовлялась на тонкой алюминиевой фольге и прижималась к нагревателю специальной рамкой, имеющей прорезь по размеру окошка. С двух сторон от окошка на медную пластину надеты нихромовые нагреватели со слюдяной изоляцией. Все устройство изолировалось от спектрографа слюдяной пластиной и помещалось между рентгеновской трубкой и кристаллодержателем. Питание нагревателя стабилизировалось барретором. Алюминиевая фольга обеспечивала подведение тепла к поглотителю. Медно-константановая термопара приклеивалась коллодиевой каплей к центру образца и позволяла во все время экспозиции следить за постоянством температуры. Это устройство позволяло проводить съемки спектров поглощения до температуры 250°, при которой коллодиевая пленка разрывалась.

На рис. 1 представлены зависимости от температуры энергии фотонов максимума поглощения $Ti^{4+}4s, p$ в титанате бария и минимума α кривой поглощения титаната свинца (см. рис. 1 в работе (1)). При этом следует отметить, что с повышением температуры первый двойной максимум поглощения ($3d$) не изменял своего положения у обоих титанатов, тогда как весь сложный главный край поглощения сдвигался в сторону меньших энергий, почти не меняя своей формы. При измерении этих смещений для титаната свинца был выбран минимум α лишь потому, что он представлял собою наиболее резко выраженную точку спектра поглощения.

Как видно из рис. 1, кривые обоих исследованных титанатов резко различны. Кривая для титаната бария могла быть изучена в области точки Кюри (для исследованной керамики 128—129°) и обнаруживает с возрастанием температуры уменьшение энергии фотонов вблизи этой точки примерно на 0,6 эв. Как известно, титанат бария при температурах ниже точки Кюри имеет тетрагональную решетку, а выше точки Кюри — кубическую. Ниже точки Кюри в решетке этого титаната устанавливается доменная структура и имеет место ионная поляризация, обусловленная смещением ионов титана в направлении оси c ; в результате этого смещения ион титана приближается к одному из октаэдрически окружающего его ионов кислорода, и электронная оболочка его также поляризуется. В точке Кюри поляризация исчезает.

Влияние поляризации ионов на длину волны главного края поглощения исследовано в работе Э. Е. Вайнштейна (2), показавшего, что при уменьшении поляризации электронной оболочки край поглощения сдви-

гается в длинноволновую сторону. Это объясняет и ход кривой, представленной на рис. 1 для титаната бария. Особенно убедительно в этом отношении сопоставление этой кривой с рис. 2, на котором представлена зависимость величины смещения иона титана от температуры. Эта зависимость получена Кенцигом ⁽³⁾ для монокристалла титаната бария, точка Кюри которого была равна около 122°.

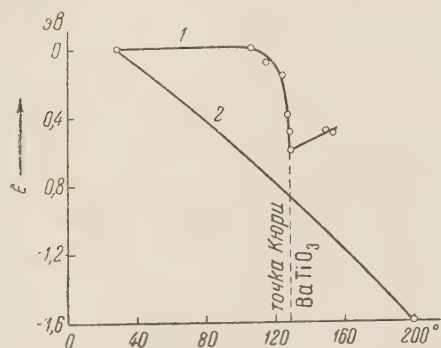


Рис. 1. Зависимость положения главного края поглощения титана в титанатах бария (1) и свинца (2) от температуры

поглощения этих кристаллов смещен по сравнению с краем поглощения тетрагональной керамики при той же температуре на 0,3—0,4 эв в длинноволновую сторону, а при температуре 150° происходит дополнительное смещение края в ту же сторону на 0,3 эв. Таким образом, ниже точки Кюри поляризация кубических монокристаллов меньше, чем у тетрагональных, но не равна нулю, так как с повышением температуры она уменьшается. Как показали исследования Н. С. Новосильцева и А. Л. Ходакова ⁽⁵⁾, кубические при комнатной температуре кристаллы с аномальным температурным ходом диэлектрической проницаемости можно превратить в нормальные (тетрагональные при комнатной температуре) путем отжига. Поэтому для контроля кубические монокристаллы из той же партии были прокалены при температуре 1300°; после охлаждения решетка этих кристаллов превратилась в обычную тетрагональную. Спектр поглощения их не отличался от спектра описанной выше керамики титаната бария. При 150° положение края поглощения кубических монокристаллов совпадает с положением края поглощения кристаллов, имеющих при комнатной температуре тетрагональную решетку (при 150° они также становятся кубическими, но при охлаждении вновь приобретают тетрагональную структуру).

Из сказанного следует, что в кубических кристаллах титаната бария электронная оболочка при комнатной температуре поляризована, хотя и значительно меньше, чем у тетрагональных кристаллов. С этим согласуется и обнаруженная Е. Г. Фесенко в кубических монокристаллах доменная структура, исчезающая при нагревании. Однако кубические монокристаллы не обнаруживают (по измерениям диэлектрической проницаемости) в интервале температур от —180 до +150° точки Кюри. Сопоставляя эти данные, можно предположить, что кубический титанат бария является антисегнетоэлектриком, в котором результирующее внутреннее поле при комнатной температуре равно нулю, хотя и имеется поляризация, вызванная небольшими смещениями ионов титана в противоположных направлениях в соседних элементарных ячейках.

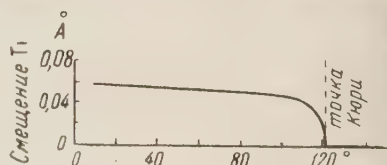


Рис. 2. Зависимость смещения иона титана от температуры для титаната бария по Кенцигу

Значительное (на 1,6 эв) смещение в длинноволновую сторону края поглощения титана в титанате свинца при нагревании до 200° (см. рис. 1), имеющее почти линейный характер, обусловлено совершенно другими причинами, так как точка Кюри этого титаната находится выше 500° . Резкое сокращение разрыва между частично заполненной $3d$ -полосой и свободной $4s$, p -полосой должно привести к резкому возрастанию электропроводности, вызванной перебросом $3d$ -электронов с наибольшей кинетической энергией в $4s$, p -полосу. Как показано в работе И. Н. Беляева и А. Л. Ходакова ⁽⁶⁾, в исследованной области температур электропроводность титаната свинца растет в 1500 раз. При этом энергия активации (1,06 эв) не меняется. Отсюда можно сделать вывод, что $3d$ -полоса расположена на постоянном (около 1 эв) расстоянии ниже максимумов потенциального поля решетки, тогда как полоса $4s$, p - с ростом температуры быстро приближается к $3d$ -полосе.

Как видно из рис. 1 работы ⁽¹⁾, разрыв между $3d$ - и $4s$, p -полосами у титаната свинца при 100° меньше, чем у титаната бария. С дальнейшим повышением температуры до 200° этот разрыв уменьшается до величины, сравнимой с энергией активации. Таким образом, наряду с электропроводностью, обязанной туннельному эффекту, у титаната свинца с повышением температуры должна резко возрастать электропроводность, обязанная перебросу электронов из $3d$ - в $4s$, p -полосу, т. е. титанат свинца представляет собою обычный электронный полупроводник.

Научно-исследовательский
физико-математический институт
при Ростовском государственном университете
им. В. М. Молотова

Поступило
12 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Блохин, ДАН, **95**, № 5 (1954). ² Э. Е. Вайнштейн, Изв. АН СССР, ОХН, № 6, 382 (1944). ³ W. Känzig, Helv. Phys. Acta, **24**, № 2, 175 (1951).
⁴ И. Н. Беляев, Н. С. Новосильцев, А. Л. Ходаков, Е. Г. Фесенко, ДАН, **78**, № 5, 875 (1951). ⁵ Н. С. Новосильцев, А. Л. Ходаков, ДАН, **85**, № 6, 1263 (1952). ⁶ И. Н. Беляев, А. Л. Ходаков, ЖЭТФ, **22**, № 3, 376 (1952).



В. Ш. КАМАЛЯН

ПЕРЕХОДНЫЙ ЭФФЕКТ π -МЕЗОНОВ, РОЖДЕННЫХ В СВИНЦЕ НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(Представлено академиком А. И. Алихановым 3 II 1954)

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования переходного эффекта π -мезонов, рожденных в свинце быстрыми нейтронами космического излучения. Наблюдение переходного эффекта π -мезонов сопряжено со значительными экспериментальными трудностями, связанными с отделением π -мезонов от интенсивного потока μ -мезонов, составляющих значительную часть всех заряженных частиц космического излучения на горных высотах. В нашей работе это затруднение мы обошли, отбирая и рассматривая только те частицы (мезоны), которые генерировались нейтральной компонентой космического излучения в блоках свинца, непосредственно расположенных над регистрирующим устройством.

Описание установки. Измерения производились на Алагезской станции космических лучей (3250 м над уровнем моря) методом масс-спектрометра Алиханяна — Алиханова, позволяющего с хорошей точностью определять импульс и пробег заряженных частиц. Масс-спектрометр был снабжен дополнительным годоскопическим устройством, позволяющим надежно отделять от всех заряженных частиц, регистрируемых установкой, такие, которые зарождались в блоках свинца под действием нейтронного излучения.

На рис. 1 приведен разрез прибора в двух взаимно-перпендикулярных проекциях a и b . В плоскости магнитного отклонения кривизна траекторий частицы определялась 5 координатными рядами, содержащими по 50 тонкостенных счетчиков диаметром 4,6 мм. В проекции b , в которой частица не испытывает отклонения, прямолинейность траектории устанавливалась при помощи рядов I, II, III, IV и V , содержащих по 10 координатных счетчиков диаметром 6,6 мм. Напряженность магнитного поля в зазоре постоянного магнита была равна 6850 эрст.

В описанном масс-спектрометре среднеквадратичная ошибка в определении импульса, обусловленная конечными размерами счетчиков и многократным рассеянием частицы в стенках счетчиков, составляла для импульса, равного $2 \cdot 10^8$ эв/с 3,7%, а для импульса $1 \cdot 10^9$ эв/с 5%.

Непосредственно под зазором магнита помещалось улавливающее устройство, состоящее из нескольких рядов координатных счетчиков, чередующихся со слоями поглощающего вещества. В одной серии измерений таким веществом служили медные пластинки общей толщиной 6,6 см, в другой — пластинки из графита толщиной 2,2 см и меди 1,1 см. Дополнительное годоскопическое устройство состояло из 6 групп счетчиков. Самая верхняя группа A состояла из трех слоев счетчиков, катоды которых соединялись параллельно (см. рис. 1). Группа B состояла из двух слоев, причем в верхнем слое каждый счетчик был присоединен к индивидуальному усилителю с неоновой лампочкой. Аналогично были выпол-

нены группы *В* и *Г*. Группы счетчиков *Д* и *Е* располагались с боков так, что свинцовые блоки толщиной до 35 см оказывались внутри своеобразной коробки из счетчиков.

Управляющим импульсом радиотехнической схемы установки служило тройное совпадение импульсов в счетчиках рядов *1*, *3* и *5*.

Срабатывание схемы происходило: а) когда заряженная частица, входящая извне в прибор, останавливалась в улавливающем устройстве, т. е. при наличии загораний лампочек ряда *А*, но в отсутствие загораний в *IX*; б) во всех случаях, когда заряженная частица зарождалась в блоках свинца нейтральным излучением, независимо от того, останавливалась она или проходила через все фильтры улавливающего устройства (отсутствие загораний в *А* или в *Б* или одновременно в обеих группах).

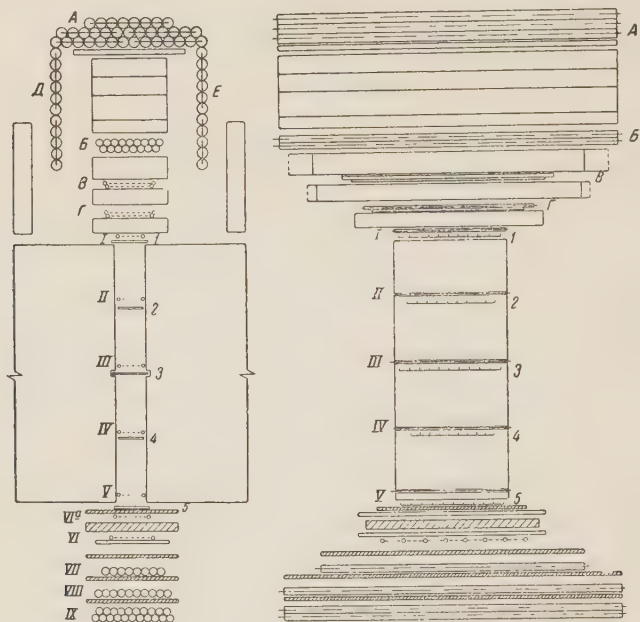


Рис. 1

Отбор траекторий. При отборе траекторий заряженных частиц, рожденных в блоках свинца, мы использовали только такие случаи, в которых отсутствовало срабатывание счетчиков в группах *Д* и *Е*. Кроме того, если в плоскости магнитного отклонения угол входа заряженной частицы больше, чем 24° , то такие случаи исключались из рассмотрения. При таком отборе практически полностью исключались случаи ложной генерации частиц, т. е. такие случаи, когда заряженные частицы, поступающие из воздуха, миновав группу *А* или *Б*, могли бы зарегистрироваться прибором.

Выделение и регистрация частиц, рожденных в свинцовых блоках нейтральным излучением, возможно только при условии большой эффективности рядов *А* и *Б*.

Из наших измерений следует, что вероятность пропуска заряженной частицы рядом *А* значительно меньше, чем 10^{-3} , и скорее всего порядка 10^{-4} .

Результаты измерений. Определяя массу частиц, генерированных в свинце нейтральным излучением, испытывавших остановку улавливающих фильтрах, можно было убедиться, что большинство из них — протоны, а меньшая часть — мезоны. Такой результат еще раньше был получен в работах А. Дадаяна и Г. Мерзона ⁽¹⁾ и М. Дайона ⁽²⁾.

Для построения кривой переходного эффекта π -мезонов мы использовали траектории частиц только отрицательного знака. При этом к π -мезонам мы причисляли и более тяжелые частицы (550 и 950 m_e), однако это не очень существенно, так как последние составляют не более $1/5$ интенсивности π -мезонов.

Результаты, полученные за 2500 час. измерений, приведены в табл. 1 и на рис. 2. Хотя статистические ошибки в каждой точке кривой переходного эффекта и велики, все-таки видно, что число мезонов возрастает от 3 до

15 см Pb, и около этого значения наблюдается наибольшее число π -мезонов.

Этот результат и следовало ожидать, так как длина пробега быстрых нуклонов в свинце составляет 150—180 г/см². На рис. 2 пунктирной линией показана расчетная пе-

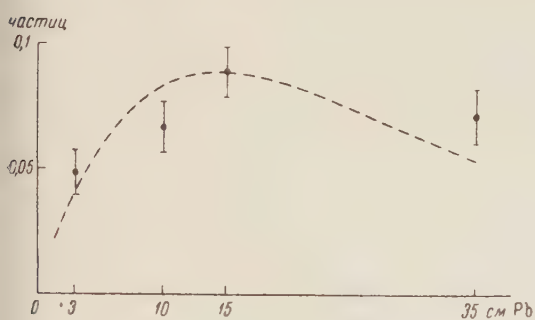


Рис. 2

сдвинутых совпадений, обнаружил на переходной кривой максимум, соответствующий 25 г/см² углерода.

Ряд авторов (⁵⁻⁷), изучавших переходный эффект для звездообразующей компоненты космических лучей на различных высотах, обнаруживали два максимума, один из которых наблюдался около 2 см свинца, а второй в интервале 10—20 см свинца. Максимумы в кривой переходного эффекта в области 20—30 г/см² не имеют до последнего времени никакого объяснения.

Из наших данных, к сожалению, нельзя сделать каких-либо заключений о существовании такого максимума, так как для этого необходимы детальные исследования в интервале 0—3 см свинца.

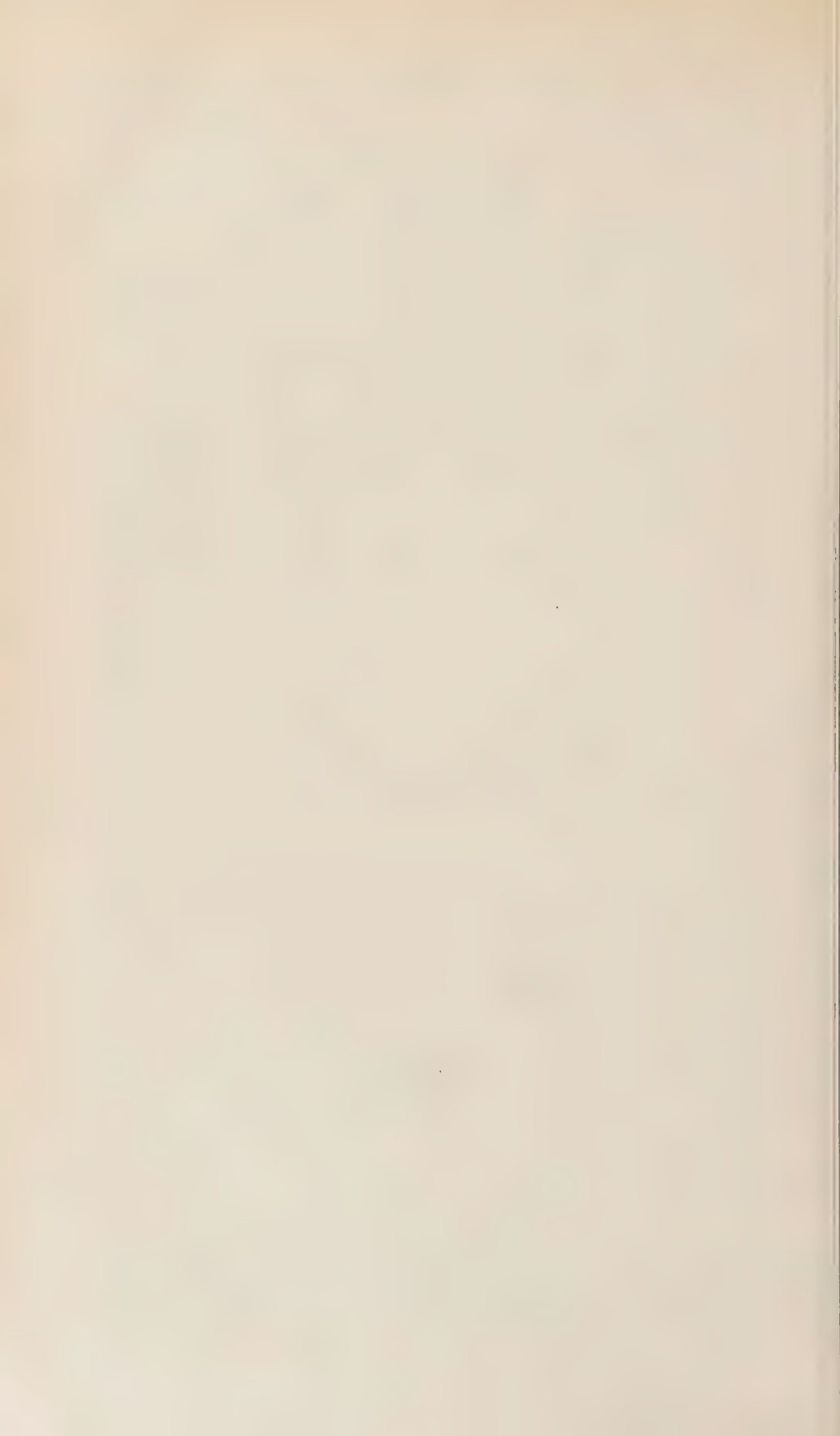
В заключение приношу глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР А. И. Алиханяну за обсуждения результатов и постоянный интерес к работе. Приношу благодарность А. В. Хримяну за помощь, оказанную им в процессе осуществления этой работы, а также Л. Григоряну, Ф. Арутюняну, Л. Фукс и В. Плавнику за участие в монтаже и части измерений.

Физический институт
Академии наук Армянской ССР

Поступило
3 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Дадаян, Г. Мерзон, ДАН, 86, № 3 (1953). ² М. Дайон, Изв. АН СССР, сер. физ., 17, № 192 (1953). ³ Г. Саакян, Изв. АН Арм.ССР, № 3, 35 (1953). ⁴ А. Вайсенберг, ДАН, 91, № 3 (1953). ⁵ Ж. С. Такибаев, ЖЭТФ, 23, 5 (1952). ⁶ Shapiro, Stiller, et al., Phys. Rev., 83, 455 (1951). E. Shopper, K. H. Höcker et al., ibid., 82, 444 (1951).



В. М. КЛЕЧКОВСКИЙ

**О ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ Z И ЧИСЛОМ
 s -, p -, d - И f -ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМЕ**

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 15 II 1954)

В работе ⁽¹⁾ было показано, что правило последовательного заполнения $(n + l)$ -групп, которому подчиняется очередность заполнения электронных уровней в атомах с увеличением Z ⁽²⁾, приводит к определенному решению задачи о Z_l — атомном номере элемента, в электронной оболочке нейтральных невозбужденных атомов которого должен появляться первый электрон с данным значением орбитального квантового числа l :

$$Z_l = \frac{1}{3}l(2l + 1)(2l + 2) + 1. \quad (1)$$

Это выражение оказывается довольно близким к уравнениям, полученным на основе статистической модели ^(3,4).

Вопрос о Z_l представляет частный случай решения более общей задачи о зависимости между Z и числом N_l электронов, занимающих нейтральном невозбужденном атоме квантовые уровни с данным значением орбитального квантового числа l . Решение этой более общей задачи на основе статистического метода, как известно, было дано Ферми ⁽⁵⁾, однако полученное им выражение зависимости N_l от Z не отражает одной весьма существенной особенности, которой отличается реальная связь между этими величинами. Рассчитанные по Ферми N_l в области значений $Z > Z_l$ и $N_l > 1$ плавно возрастают с увеличением Z , тогда как в действительности величина N_l изменяется с ростом Z не непрерывно, а ступенями: существуют интервалы значений Z , в пределах которых N_l растет пропорционально увеличению Z (причем $\Delta N_l / \Delta Z = 1$), и такие, в которых величина N_l остается постоянной; переход от одного из таких интервалов к другому отвечает началу и окончанию заполнения электронами n, l -подгрупп квантовых уровней с данным l . Поэтому представляет интерес возможность дать формулировку зависимости между Z и N_l на основе правила последовательного заполнения $(n + l)$ -групп. Это правило, обобщающее фактические данные об электронных конфигурациях атомов различных элементов, состоит в том ⁽²⁾, что заполнение квантовых уровней электронами с увеличением Z происходит последовательно от групп уровней с меньшим значением $n + l$ к группам уровней с большим значением $n + l$, а в пределах каждой $(n + l)$ -группы — от подгрупп с большим l к подгруппам с меньшим l . Покажем здесь, какой вид зависимости между Z и N_l вытекает из этого правила.

1. Представим схематически зависимость N_l от Z графиком, откладывая по оси абсцисс Z , а по оси ординат N_l , как это изображено на рис. 1. Условимся обозначать через a_1, a_2, a_3 и т. д. точки, вправо от которых начинается каждый раз заполнение электронами уровней отдельной n, l -подгруппы с данным l ; соответственно, пусть точки

b_1, b_2, b_3 и т. д. отвечают окончанию заполнения каждой такой подгруппы. Координаты этих точек будем записывать как $N_l(a_1), Z(a_1), N_l(a_2), Z(a_2), \dots, N_l(b_1), Z(b_1), \dots$ и т. д. Решением поставленной задачи будет нахождение $N_l(a_x), Z(a_x)$ и $N_l(b_x), Z(b_x)$ для любых l и x .

Если на отрезке от a_1 до b_1 заполняется первая подгруппа уровня с данным l , то $N_l(a_1) = 0$, а $N_l(b_1)$ должно быть равно максимальному числу электронов, могущих занять без нарушения запрета Паули уровни одной n, l -подгруппы, или $N_l(a_1) = 0$ и $N_l(b_1) = 2(2l + 1)$.

Точно так же, если на отрезке от a_2 до b_2 происходит заполнение второй n, l -подгруппы с тем же l , то $N_l(a_2) = N_l(b_1) = 2(2l + 1)$ а $N_l(b_2) = N_l(a_2) + 2(2l + 1)$, или, в общем виде:

$$N_l(a_x) = 2(2l + 1)(x - 1), \quad N_l(b_x) = 2(2l + 1)x. \quad (1)$$

Знание правила, которому подчиняется очередность заполнения уровней с увеличением Z , позволяет придать определенный физический смысл величине x в (2). Так как среди n, l -подгрупп с одним и тем же n (а следовательно, и равными $n + l$) сначала заполняются уровни с наименьшим возможным для данного значения n , равным $l + 1$, а затем уровни со значением $n = l + 2$ и т. д., то, следовательно, первой среди таких подгрупп должна заполняться подгруппа с $n - l = 1$, второй — с $n - l = 2$, третьей — с $n - l = 3$ и т. д. Поэтому величина x в (2) равна $n - l$, или, что то же, $x = n_r + 1$, где n_r — радиальное квантовое число той подгруппы уровней, которая заполняется на участке от a_x до b_x .

2. Переходя к определению $Z(a_x)$ и $Z(b_x)$, т. е. значений Z , в промежутке между которыми должна заполняться подгруппа уровней с данным l и радиальным квантовым числом $n_r = x - 1$, найдем число S_u нетождественных квантовых состояний, принадлежащих к совокупности $(n + l)$ -групп со всеми значениями $n + l$, не превышающими некоторой максимальной величины $n + l = u$. Пусть $u = 2q$, когда $q = 0, 1, 2, 3, \dots$.

Число нетождественных квантовых состояний $N_{(n+l)}$ в пределах $(n + l)$ -группы со значением $n + l = u$ равно $\binom{u+1}{2}$ для четных значений u и равно $0,5(u + 1)^2$ для нечетных значений u . Отсюда следует, что число нетождественных квантовых состояний, принадлежащих к двум $(n + l)$ -группам, одна из которых имеет четное значение $n + l = 2q$, а другая на единицу меньше нечетное значение этой суммы, равно $(2q)^2$. Поэтому, если u четно и равно $2q$, то

$$S_u = \sum_{q=0}^{0,5u} (2q)^2 = \frac{u(u+1)(u+2)}{6}. \quad (3)$$

Соответственно, если u нечетно и равно $2q + 1$, то

$$S_u = \sum_{q=0}^{0,5(u-1)} (2q)^2 + \sum_{l=0}^{0,5(u-1)} 2(2l + 1) = \frac{u^3 - u}{6} + \frac{(u + 1)^2}{2}. \quad (4)$$

3. Если очередность заполнения уровней электронами подчиняется правилу последовательного заполнения $(n + l)$ -групп, то последние в совокупности, включающей все $(n + l)$ -группы со значениями $n + l \leq u$, должна заполняться $(n + l)$ -группа с максимальным в данной совокупности значением $n + l = u$, а в пределах этой $(n + l)$ -группы сначала должны заполняться подгруппы с большим, а затем с меньшим значением $n - l$.

меньшим l . Следовательно, заполнение подгруппы уровней с $l = l_x$ и $+l = u$ должно начинаться после того, как из общего числа S_u неогрешественных квантовых состояний с $n + l \leq u$ останутся незанятыми, l -подгруппы со значениями $l \leq l_x$ и $n + l = u$. Суммарное число электронов, могущих занять уровни этих подгрупп, равно

$$\sum_{l=0}^{l_x} 2(2l+1) = 2(l_x+1)^2. \quad (5)$$

Поэтому можем написать

$$Z(a_x) = S_u - 2(l+1)^2. \quad (6)$$

Так как, далее, на участке от a_x до b_x заполняются уровни одной подгруппы с данным l , то $Z(b_x) = Z(a_x) + 2(2l+1)$, откуда

$$Z(b_x) = S_u - 2l^2. \quad (7)$$

Чтобы выразить $Z(a_x)$ и $Z(b_x)$ в виде функций от l и x , подставим (6) и (7) вместо S_u соответствующие выражения (3) и (4), заменяя них одновременно u на $2l+x$, где $x = n_r + 1$. Так как четность и x одинакова, то

а) для четных x

$$Z(a_x) = \frac{1}{6}(2l+x)(2l+x+1)(2l+x+2) - 2(l+1)^2, \quad (8)$$

$$Z(b_x) = \frac{1}{6}(2l+x)(2l+x+1)(2l+x+2) - 2l^2; \quad (9)$$

б) для нечетных x

$$Z(a_x) = \frac{1}{6}[(2l+x)^3 - (2l+x)] + \frac{1}{2}(2l+x+1)^2 - 2(l+1)^2, \quad (10)$$

$$Z(b_x) = \frac{1}{6}[(2l+x)^3 - (2l+x)] + \frac{1}{2}(2l+x+1)^2 - 2l^2. \quad (11)$$

Таблица 1

x	$l=0$		$l=1$		$l=2$		$l=3$	
	$Z(a_x)$	$Z(b_x)$	$Z(a_x)$	$Z(b_x)$	$Z(a_x)$	$Z(b_x)$	$Z(a_x)$	$Z(b_x)$
1	0	2	4	10	20	30	56	70
2	2	4	12	18	38	48	88	(102)
3	10	12	30	36	70	80	(138)	—
4	18	20	48	54	(102)	(112)	—	—
5	36	38	80	86	—	—	—	—
6	54	56	(112)	(118)	—	—	—	—
7	86	88	—	—	—	—	—	—

В табл. 1 приведены вычисленные по (8), (9), (10) и (11) значения $Z(a_x)$ и $Z(b_x)$ для $l=0, 1, 2, 3$ и $x=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$. Взяты в скобки или вообще не приводятся (как выходящие за рамки реальных значений Z) величины $Z(a_x)$ и $Z(b_x)$, превышающие 100.

4. Введем обозначение $N_l(a_x \rightarrow b_x)$ для ординаты N_l в промежутке от a_x до b_x ; тогда можем написать:

$$N_l(a_x \rightarrow b_x) = N_l(a_x) + Z - Z(a_x) = N_l(b_x) + Z - Z(b_x). \quad (12)$$

Заменяя в (12) $N_l(a_x)$ и $Z(a_x)$ или $N_l(b_x)$ и $Z(b_x)$ соответствующими выражениями (2) и (8) — (11), получим:

а) для четных x

$$N_l(a_x \rightarrow b_x) = 2(2l+1)x + 2l^2 + Z - \frac{1}{6}(2l+x)(2l+x+1)(2l+x+2); \quad (13)$$

б) для нечетных x

$$N_l(a_x \rightarrow b_x) = 2(2l+1)x + 2l^2 + Z - \frac{1}{6}[(2l+x)^3 - (2l+x)] - \frac{1}{2}(2l+x+1)^2. \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14)* выражают зависимость N_l от Z в любом интервалов от $Z = Z(a_x)$ до $Z = Z(b_x)$, в которых происходит изменение уровней с данным l . В промежутках между такими интервалами

$N_l = \text{const}$ и равно $N_l(a_x)$ в сторону $Z < Z(a_x)$ и равно $N_l(b_x)$ в сторону $Z > Z(b_x)$.

Сравнение вычисленных по (13) и (14) и фактических величин N_l , приведенное на рис. 2, показывает, что действительная зависимость между Z и N_l удовлетворительно описывается этими уравнениями. Наиболее полное совпадение наблюдается для $l=0$. Нет ни одного случая, когда бы число p -электронов, вычисленное по (13) и (14), не совпало с фактическим. Немного расхождения между вычисленными и фактическими величинами встречаются для s -, d - и f -электронов; как видно на рис. 2, они весьма невелики.

Так как (13) и (14) являются следствием принципа последовательного заполнения $(n+l)$ -группы, то приведенное на рис. 2 сравнение вычисленных и фактических величин

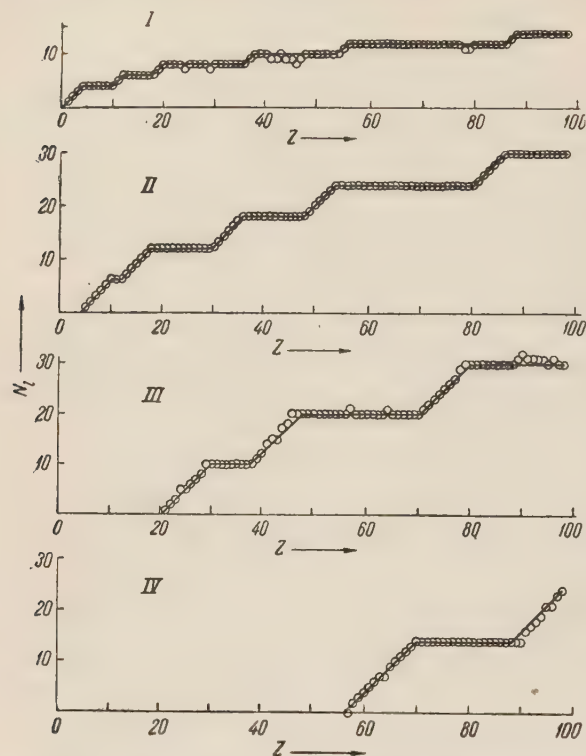


Рис. 2. Число s -, p -, d - и f -электронов в атоме как функция Z . Ломаные линии (в наклонной части) отвечают уравнениям (13) и (14), кружками показаны эмпирические значения N_l . I — s -электроны ($l=0$); II — p -электроны ($l=1$); III — d -электроны ($l=2$); IV — f -электроны ($l=3$).

N_l может служить характеристикой того, насколько точно это правильно отражает действительную закономерность, которой подчиняется последовательность заполнения электронных уровней в атомах с увеличением Z , обуславливающая строение периодической системы элементов.

Поступило
15 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. М. Клечковский, ДАН, **92**, 923 (1953). ² В. М. Клечковский, ДАН, **80**, 603 (1951); ЖЭТФ, **23**, 115 (1952). ³ А. Зоммерфельд, Волновая механика, **2**, 1933, стр. 348. ⁴ Д. Иваненко, С. Ларин, ДАН, **88**, 45 (1953). ⁵ E. Fermi, Atti d. Reale Ac. Nat. d. Lincei, **7**, 342 (1928). ⁶ В. М. Клечковский, ЖФХ, **27**, 1251 (1953). ⁷ R. Nakala, J. of Phys. Chem., **56**, 178 (1952).

* Применяя несколько иной способ выражения $Z(a_x)$, аналогичный использованному в (7), два уравнения (13) и (14) можно преобразовать в одно:

$$N_l(a_x \rightarrow b_x) = 2(2l+1)x + 2l^2 + Z - \frac{1}{6}(2l+x)(2l+x+1)(2l+x+2) - \frac{1}{4}(2l+x+1)[1 - (-1)^{2l+x}].$$

Академик Л. Д. ЛАНДАУ, А. А. АБРИКОСОВ и И. М. ХАЛАТНИКОВ

СИМПТОТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ГРИНОВСКОЙ ФУНКЦИИ ФОТОНА В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

В предыдущих работах ^(1, 2) нами были получены общие интегральные уравнения квантовой электродинамики нулевого приближения и найдены асимптотические выражения для электронной гриновской функции G и вершинной части Γ_μ . Теперь мы применим полученные результаты для нахождения фотонной гриновской функции $D_{\mu\nu}$.

Интеграл, стоящий в уравнении для $D_{\mu\nu}$ (6) ⁽¹⁾, при больших p расходуется в данном случае квадратично. Однако, поскольку значение интеграла при $k=0$ должно равняться нулю вследствие закона сохранения заряда (поперечность дираковского тока), мы должны рассматривать лишь разности между этим интегралом и его значением при $=0$. Учитывая, что члены, содержащие в знаменателе p^3 , дают нуль, при усреднении мы приходим опять к интегралу логарифмического типа. Поскольку область $p \ll k$, как легко видеть, ничего существенного в интеграле не дает, нам достаточно рассматривать область $p \gg k$.

При вычислении логарифмического интеграла необходимо, разумеется, наподобие того, как это делалось в предыдущей работе, учесть $\Gamma_\mu(p, p-k; k)$ добавки второго порядка по k/p . Для нахождения этих добавок воспользуемся уравнением для Γ_σ (1) ⁽¹⁾, причем в стоящем здесь интеграле перейдем от переменной интегрирования k к переменной $k' = p - k$. Тогда он примет форму

$$\int D_{\mu\nu}(p-k') \Gamma_\mu(p, k'; p-k') G(k') \Gamma_\sigma(k', k'-l; l) G(k'-l) \times \\ \times \Gamma_\nu(k'-l, p-l; k'-p) d^4k.$$

Здесь считается $p \gg l$. Очевидно, что от разложения $G(k'-l)$ по степеням l/k' , действительно, возникают члены второго порядка по l , приводящие к интегралу, логарифмическому в области $p \gg k' \gg l$. Членов первого порядка по l не может возникнуть, так как они содержат в знаменателе k'^3 и исчезают при интегрировании по углам. Члены рассматриваемого типа могут возникать как от $G(k'-l)$, так от $\Gamma_\sigma(k', k'-l; l)$. Зависимость от l в последнем Γ_ν дает члены не порядка l^2/k'^2 , а порядка l^2/p^2 , которыми можно пренебречь.

Мы начнем с вычисления добавок, возникающих от $G(k'-l)$. В результате вычислений находим искомое выражение:

$$\frac{e_1^2}{24\pi} \left\{ 2d_t(\xi) \frac{\hat{l}\gamma_\sigma \hat{l} - l^2 \gamma_\sigma}{p^2} + [d_l(\xi) - d_t(\xi)] \frac{l^2 \hat{p}\gamma_\sigma \hat{p} - \hat{p} \hat{l}\gamma_\sigma \hat{l} \hat{p}}{p^4} \right\} \alpha^2(\xi) \times \\ \times \int_{\eta}^{\xi} \alpha(z) \beta^2(z) dz. \quad (1)$$

$$\text{Здесь } \xi = \ln\left(-\frac{p^2}{m^2}\right), \quad \eta = \ln\left(-\frac{l^2}{m^2}\right).$$

Оказывается, что достаточно искать поправку к $\Gamma_\sigma(p, p-l;$ в виде:

$$s(\xi, \eta) \alpha^2(\xi) \left\{ 2d_t(\xi) \frac{\hat{l}\gamma_\sigma \hat{l} - l^2 \gamma_\sigma}{p^2} + [d_l(\xi) - d_t(\xi)] \frac{l^2 \hat{p}\gamma_\sigma \hat{p} - \hat{p}\hat{l}\gamma_\sigma \hat{l} \hat{p}}{p^4} \right\}. \quad (2)$$

Подставив это выражение в интеграл и сравнивая члены в левой и правой частях уравнения для Γ_σ (1) (1), получаем уравнение для $s(\xi, \eta)$:

$$s(\xi, \eta) = \frac{e_1^2}{4\pi} \int_{\eta}^{\xi} \alpha^2(z) \beta^2(z) d_l(z) s(z, \eta) dz + \frac{e_1^2}{24\pi} \int_{\eta}^{\xi} \alpha(z) \beta^2(z) dz. \quad (3)$$

Подставляя выражение (2) для добавки к Γ_σ в уравнение для $D_{\mu\nu}$ (6) (1), получаем

$$d_t(\eta) = 1 - 8 d_t(\eta) \left[\frac{e_1^2}{4\pi} \int_{\eta}^L \alpha^2(z) \beta^2(z) d_l(z) s(z, \eta) dz + \frac{e_1^2}{24\pi} \int_{\eta}^L \alpha(z) \beta^2(z) dz \right]. \quad (4)$$

Через L здесь обозначен верхний предел рассматриваемых нами значений величины η , который определяется радиусом «размазывания взаимодействия». Согласно принятой нами схеме «размазанного взаимодействия», величина взаимодействия должна быстро падать, когда импульс превышает критическую величину $P \sim 1/a$, где a — радиус взаимодействия. Условие $p \gg P$ переходит в логарифмической шкале просто в условие $\xi > L$, где $L = \ln(-P^2/m^2)$, поскольку значительное изменение величины p соответствует относительно ничтожным изменениям $\ln(-p^2/m^2)$. Поэтому факт размазывания приводит к тому, что все интегралы, связанные с взаимодействием, должны браться до верхнего предела L . Подчеркнем, что, согласно основной схеме, константа e_1 является в действительности функцией «радиуса размазывания» a , т. е. величины L . При вычислении функций G и Γ_μ (2) нам не было необходимости пользоваться размазыванием, поскольку та расходимость определялась функцией $d_l(\xi)$ произвольной, а не связанной с характером взаимодействия. Однако, если мы вводим размазывание, мы должны автоматически и в интегралах, стоящих в показателях α и β , поставить верхний предел L вместо бесконечности.

Отметим, что при этом $\beta(L) = 1$. Это соответствует тому очевидному обстоятельству, что при импульсах $p \gg P$ взаимодействие исчезает и электрон должен вести себя как свободный, не взаимодействующий с полем.

Сравнивая формулу (4) с формулой (3), получаем:

$$\frac{1}{d_t(\eta)} = 1 + 8s(L, \eta). \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение (3) по ξ и учитывая соотношения $\alpha = \frac{1}{\beta}$ и $\frac{d\beta(\xi)}{d\xi} = \frac{e_1^2}{4\pi} d_l(\xi) \beta(\xi)$ (2), получаем

$$\frac{\partial s(\xi, \eta)}{\partial \xi} = s(\xi, \eta) \frac{1}{\beta(\xi)} \frac{d\beta(\xi)}{d\xi} + \frac{e_1^2}{24\pi} \beta(\xi), \quad (6)$$

откуда

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{s(\xi, \eta)}{\beta(\xi)} \right) = \frac{e_1^2}{24\pi},$$

учитывая, что при $\xi = \eta \quad s = 0$, согласно (3),

$$s(\xi, \eta) = \frac{e_1^2}{24\pi} (\xi - \eta) \beta(\xi). \quad (7)$$

Подставляя сюда $\xi = L$ и учитывая $\beta(L) = 1$, получаем окончательно из (5):

$$d_t(\eta) = \frac{1}{1 + \frac{e_1^2}{3\pi} L - \frac{e_1^2}{3\pi} \eta}. \quad (8)$$

Заметим, что это выражение, в отличие от выражений для G и Γ_μ , не содержит произвольной функции d_t , как это и требуется градиентной инвариантностью.

Эта формула применима при $|k^2| \gg m^2$. При $k^2 \sim m^2$ она дает

$$d_t^0 = \frac{1}{1 + \frac{e_1^2}{3\pi} L}. \quad (9)$$

Поскольку при k малых по сравнению с m интегрирование ведется по $p \gg k$, а по $p \gg m$, формула (9) имеет место и для $k \ll m$, в частности и для $k \rightarrow 0$.

Теперь мы можем найти связь между константой e_1 и истинным зарядом электрона. Для этого рассмотрим, например, рассеяние электрона на электроне. Оно изображается диаграммой на рис. 1. Свободные концы соответствуют $p^2 = m^2$. Для того чтобы мы могли применить полученные нами формулы для Γ_μ (2), необходимо, чтобы импульс фотона на фотонной линии не был очень велик по сравнению с m . При этом можно пренебречь η в знаменателе формулы (8), т. е. заменить d_t на d_t^0 . Согласно Гайсону (3), каждому свободному концу соответствует дополнительное умножение

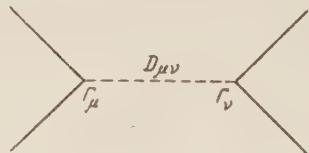


Рис. 1

на $\sqrt{\lim_{p^2 \rightarrow m^2} (\hat{p} - m) G(p)}$, в нашем случае главный $\sqrt{\beta(\xi = 0)}$.

Учитывая, что диаграмма на рис. 1 содержит 4 электронных свободных конца, две вершины и одну фотонную линию, легко видеть, что в результате мы получим для амплитуды рассеяния обычную формулу, где вместо квадрата заряда будет стоять произведение $e_1^2 \alpha^2(0) d_t^0$. Подставляя соответствующие выражения, получаем окончательно

$$e^2 = \frac{e_1^2}{1 + \frac{e_1^2}{3\pi} L}.$$

Разумеется, та же формула получается и из рассмотрения любого другого эффекта. Она, как и следовало, удовлетворяет требованию радиентной инвариантности. Выражая e_1^2 через e^2 , имеем

$$e_1^2 = \frac{e^2}{1 - \frac{e^2}{3\pi} L}. \quad (10)$$

Из этой формулы видно, что при заданном e^2 значение e_1^2 растет с увеличением L и становится порядка единицы при значениях L , близких $3\pi/e^2$. Поскольку наши основные уравнения выведены в предположении $e_1^2 \ll 1$, наши формулы (в том числе и формула (10)) перестают

быть применимыми при $L > 3\pi/e^2$. Это означает, что вся рассматриваемая теория применима лишь при $\xi < 3\pi/e^2$, и рассмотрение меньших размеров и больших энергий с ее помощью невозможно.

В действительности предлагаемая теория становится неприменимо значительно раньше из-за гравитации. Гравитационное взаимодействие становится порядка электромагнитного при $p^2 \sim e^2/K$ (K — гравитационная постоянная). Это соответствует $p \sim 2 \cdot 10^{-6}$ г и $L \sim 10$.

Формула для d_t может быть теперь написана в виде

$$d_t(k^2) = \frac{e^2}{e_1^2} \frac{1}{1 - \frac{e^2}{3\pi} \ln \left(-\frac{k^2}{m^2} \right)} \quad (11)$$

при $k > m$). С точностью до «перенормировочного» множителя d_t оканчивается, как и следовало, не зависящим от радиуса «размазывания».

При выводе формулы (11) было существенно то, что мы не рассматривали никаких других заряженных частиц, кроме электронов. По отношению к частицам, сильно взаимодействующим с неэлектромагнитными полями (π -мезоны, нуклоны), такое пренебрежение, несомненно, оправдано, поскольку они, благодаря специфическим взаимодействиям, получают конечный «радиус», и взаимодействие их с электромагнитным полем убывает с увеличением волнового вектора быстрее, чем это имеет место в формуле (11).

С другой стороны, возможно, что в природе существуют частицы, не способные к сильным взаимодействиям (μ -мезоны?). В этом случае в знаменателе формулы для d_t вместо второго члена будет стоять сумма аналогичных выражений для разных сортов частиц. Поскольку произведение $e^2/3\pi$ на логарифмы отношения масс есть всегда малая величина, это практически сведется к умножению второго члена в знаменателе на целочисленный множитель, равный числу сортов такого рода частиц.

Поступило
25 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Д. Ландау, А. А. Абрикосов, И. М. Халатников, ДАН, 95, № 3 (1954). ² Л. Д. Ландау, А. А. Абрикосов, И. М. Халатников, ДАН, 95, № 4 (1954). ³ F. J. Dyson, Phys. Rev., 75, 1736 (1949).

Г. П. СТАРЦЕВ

ТРЕХЛУЧЕВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 15 II 1954)

Аномальная дисперсия как метод исследования используется для решения широкого круга задач прикладной и теоретической спектроскопии. Д. С. Рождественский⁽¹⁾ создал точный интерференционный метод измерения дисперсии, получивший название метода «крюков»; для практического применения этого метода им был предложен интерферометр оригинальной конструкции. В последние годы в практике интерференционных измерений нашла применение забытая схема трехлучевого интерферометра^(2, 3). В настоящей статье изложены результаты применения такого интерферометра для измерений дисперсии вблизи линий поглощения.

§ 1. Сущность трехлучевого метода заключается в следующем. Рассмотрим обычную схему наблюдения дифракции от трех равноотстоящих щелей S_2 (рис. 1 А). Дифракционная картина, наблюдаемая в фокальной плоскости объектива O_2 , может быть представлена как результат интерференции лучей, прошедших через боковые щели, с лучом, прошедшим среднюю щель. Если на пути среднего луча поместить пластинку толщиной l с показателем преломления n , то вид дифракционной картины будет зависеть от разности хода $\Delta = (n - 1)d$, вносимой пластинкой. На рис. 2 показаны снимки дифракционных картин, соответствующие различным значениям разности хода Δ . На снимке 2а в промежутках между главными максимумами помещается еще по одному, едва заметному на репродукции вторичному максимуму. Внесение разности хода приводит к изменению относительной яркости этих максимумов; с увеличением разности хода яркость вторичных максимумов растет, а главных, наоборот, убывает. Яркость максимумов уравнивается, когда $\Delta = \lambda/4$ (рис. 2 б). В этом случае картина

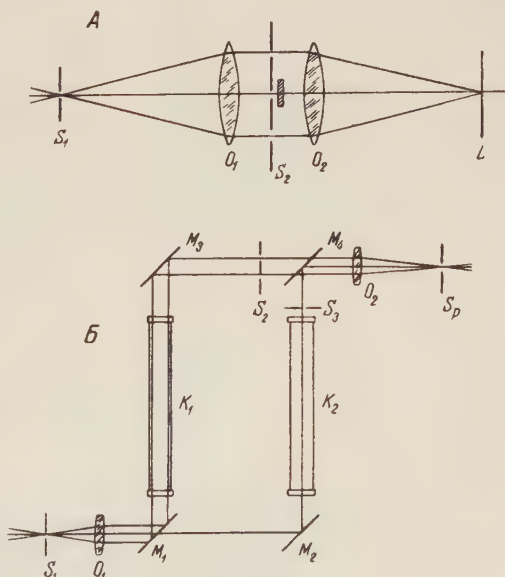


Рис. 1

получается такая же, как для двух боковых щелей. Наибольшую яркость вторичные максимумы имеют при значении $\Delta = \lambda/2$ (рис. 2 *а*). Дальнейшее увеличение разности хода до значения, равного λ , возвращает картину к первоначальному виду (рис. 2 *а*). Таким образом, отношение яркостей двух соседних полос оказывается весьма чувствительным к небольшим изменениям разности хода.

Чтобы применить трехлучевую схему к измерению дисперсии около линий поглощения, надо спроектировать изображение горизонтальных дифракционных полос на щель спектрографа. В этом случае вблизи линии поглощения, где показатель преломления быстро меняется, яркость главных и вторичных максимумов будет чередоваться. В спектре появятся отчетливые разрывы дифракционных полос, расстояния между которыми от линий поглощения легко измерить. Удобный способ измерений состоит в наведении нити окуляра микроскопа на точки равной яркости главных и вторичных максимумов. Для последовательного ряда таких точек разности хода равны $1/4\lambda$, $3/4\lambda$ и т. д.

Зависимость показателя преломления от длины волны около линии поглощения с длиной волны λ_i с достаточной точностью выражается формулой

$$n - 1 = \frac{a_i \lambda}{\lambda - \lambda_i}.$$

В этой формуле коэффициент a_i пропорционален «силе осциллятора».

Если обозначить номер «разрыва» полос через k , то разность хода, соответствующую измеряемым точкам, можно записать в виде

$$\Delta = (n - 1)d = \frac{a_i d \lambda}{\delta_{ik}} = (2k - 1) \frac{\lambda}{4} \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

где δ_{ik} — расстояние k -го «разрыва» от линии поглощения.

Из формулы (2) следует, что $1/\delta_{ik}$ линейно зависит от k . Откладывая по оси ординат $1/\delta_{ik}$, а по оси абсцисс k , мы получим прямую линию, угловой коэффициент которой равен $\operatorname{tg} \alpha_i = 1/a_i d$. Очевидно, что все прямые должны пересекать ось абсцисс в точке $k = 1/2$, соответствующей нулевой разности хода. Измерив угол наклона, легко найти отношение сил осцилляторов f_2/f_1 для двух линий с длинами волн λ_1 и λ_2 . Если обе линии имеют общий нижний уровень, то

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{a_2 (\lambda_1)^2}{a_1 (\lambda_2)^2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 (\lambda_1)^2}{\operatorname{tg} \alpha_2 (\lambda_2)^2}.$$

§ 2. С целью проверки изложенного выше метода были измерены отношения сил осцилляторов для второго дублета цезия $\lambda\lambda$ 4555,4-4593,2 Å. Для этого дублета имеются весьма тщательные измерения, выполненные методом «крюков».

Обычный интерферометр Рождественского был превращен в трехлучевой введением щелей в оба интерферирующих пучка. Оптическая схема установки изображена на рис. 1 Б. Горизонтальная щель шириной 0,02 мм устанавливалась в фокусе объектива O_1 . Средняя щель S_3 и боковые щели S_2 имели ширину 0,5 мм; расстояние между боковыми щелями было равно 2,5 мм. В одно плечо вводилась нагреваемая печкой кювета K_2 с парами исследуемого металла; во второе плечо помещалась точно такая же компенсационная кювета K_1 . Объектив O_2 проектировал интерференционные полосы на щель тризмического стеклянного спектрографа большой дисперсии. Щель освещалась криптоновой дугой высокого давления.

Предварительно интерферометр юстировался так, чтобы на щели спектрографа получалась широкая белая полоса нулевого порядка. После этого в пучки вводились щели S_2 и S_3 , причем луч, прошедший

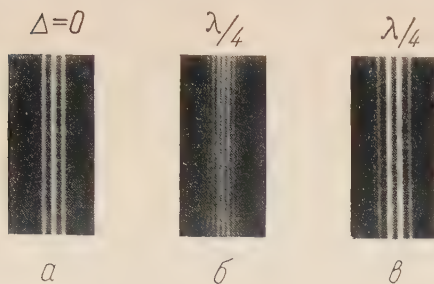


Рис. 2

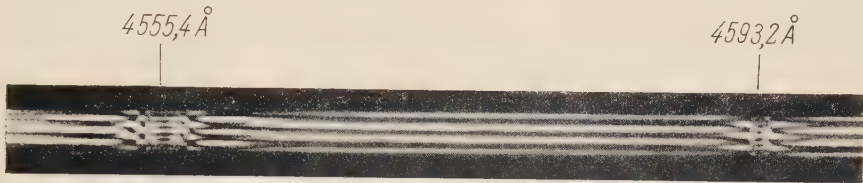


Рис. 3

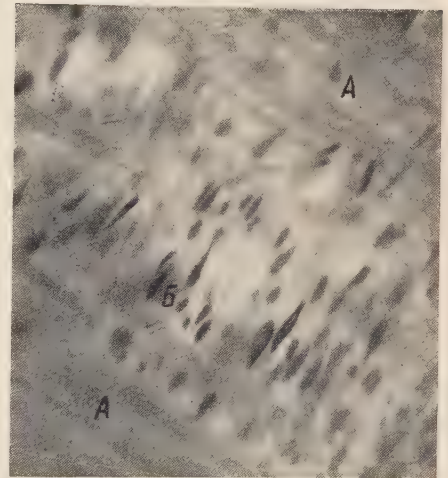
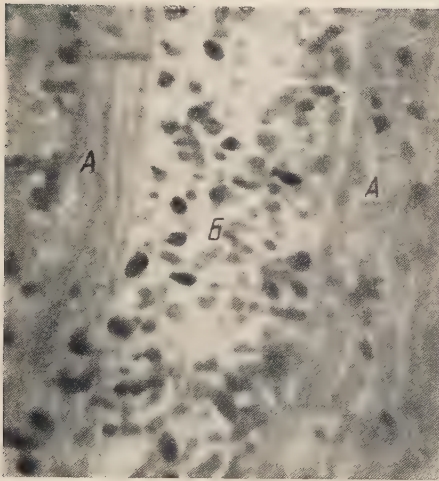


Рис. 1. Сагиттальный разрез шейки *B. punctatus* Rud. А — продольные мускульные волокна; Б — мозговой слой паренхимы, включающий большое количество амебocитарных клеточных элементов. Микрофото. Окраска железным гематоксилином. $\times 630$

Рис. 2. Сагиттальный разрез стробилы *B. punctatus* Rud. в области первых члеников. А — продольные мускульные волокна; Б — мозговой слой паренхимы с миобластами веретеновидной формы. Микрофото. Окраска эозин-азуром. $\times 630$

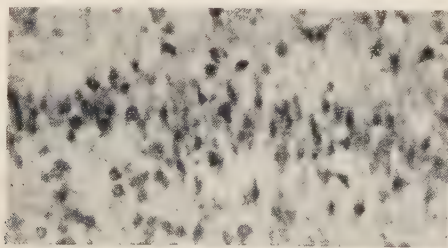


Рис. 3. Поперечный разрез мозгового слоя паренхимы членика *T. saginatus*. Центральную часть занимает слой миобластов дорзo-вентральных мышечных волокон. Микрофото. Окраска железным гематоксилином. $\times 280$

ший через S_3 , устанавливался посередине относительно боковых лучей, выделенных щелями S_2 .

В этой установке было сфотографировано несколько серий снимков дисперсии в парах цезия*. У широко расставленного дублета цезия (см. рис. 3) измерялись расстояния между соответствующими разрывами полос по разные стороны от линии поглощения, так как места разрывов более отчетливы, чем линия поглощения. Кроме того при этом способе измерений устраняется ошибка от смещения нулевой полосы интерферометра, приводящая к асимметричному расположению разрывов по отношению к линии поглощения. Смещение нулевой полосы вносит постоянную разности хода, которая складается с разностью хода, внесенной парами, по одну сторону от линии и вычитается по другую сторону. Это и приводит к асимметрии. Следствием ее является то, что прямые линии, построенные по формуле (2), уже не будут пересекать ось абсцисс в точке $k = 1/2$. Из графиков, представленных на рис. 4, видно, что все прямые пересекаются в одной точке $k = 1/2$, т. е. влияние смещения нулевой полосы устранено.

Расстояния разрывов δ_{ik} от линий поглощения, выраженные в ангстремах, сведены в табл. 1. Соответствующие точки нанесены на рис. 4.

Из отношения тангенсов углов наклона прямых определялось f_2/f_1 для исследуемого дублета. Среднее значение отношения сил осцилляторов, подсчитанное из 10 снимков, оказалось равным $f_2/f_1 = 4,22 \pm 0,03$. Для этого дублета Д. С. Рождественский⁽¹⁾ получил значение $4,07 \pm 0,05$. В. К. Прокофьев и Г. Штандель⁽⁵⁾ приводят значение, равное $4,25 \pm 0,06$. Таким образом, наши измерения находятся в весьма хорошем согласии с измерениями, проведенными методом «крюков».

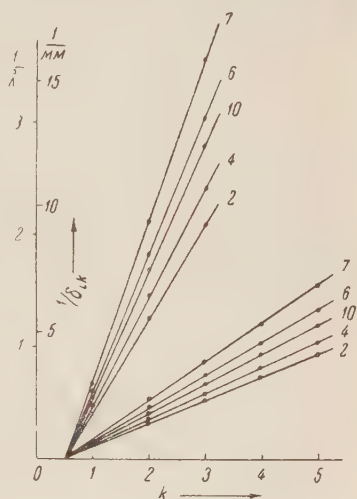


Рис. 4

Таблица 1

№ снимка	$\lambda_2=4555,4 \text{ \AA}$				$\lambda_1=4593,2 \text{ \AA}$		
	δ_{22}	δ_{23}	δ_{24}	δ_{25}	δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}
2	3,29	1,97	1,38	1,05	2,85	0,75	0,49
4	2,84	1,73	1,20	0,95	2,12	0,68	0,43
6	2,16	1,34	0,96	0,75	1,66	0,52	0,34
7	1,79	1,17	0,85	0,65	1,50	0,50	0,28
10	2,46	1,46	1,04	0,83	1,80	0,59	0,35

Интересно отметить, что нанесенные на графиках точки (табл. 1) подходят к линиям поглощения на расстояния до 0,3 Å. Сохранение прямолинейности графиков свидетельствует об отсутствии систематических ошибок в измерениях на столь близких расстояниях от линии поглощения.

Между тем, измерение слабых линий методом «крюков» осложняется тем, что на близких расстояниях крюка от линии вследствие

* В обработке снимков принимала участие Е. Е. Березина.

асимметрии формы крюка появляется систематическая погрешность (^{4,5}). Уменьшить асимметрию можно только увеличением толщины компенсационной пластинки, а это ведет к снижению чувствительности метода. Если предположить, что для точных измерений на расстояниях 0,2—0,3 Å требуется компенсационная пластинка толщиной 10—20 мм, то несложный подсчет показывает, что требуемая в этом случае дисперсия паров будет примерно на порядок превосходить наименьшее значение, измеримое трехлучевым методом.

Наконец, следует еще отметить, что весьма простой трехлучевой интерферометр для исследования аномальной дисперсии можно построить по типу интерферометра Рэлея с тремя щелями.

Приношу искреннюю благодарность проф. В. К. Прокофьеву за интерес, проявленный к настоящей работе, и ценные замечания.

Поступило
9 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. С. Рождественский, Аномальная дисперсия в парах металлов, Изд. АН СССР, 1951. ² УФН, 47, № 1, 146, 1952. ³ V. Väisälä, Ann. Univ. Fennicae Aboensis, Ser. A, 1, No. 2 (1923). ⁴ Г. С. Кватер, ЖЭТФ, 12, 374, 1942. ⁵ В. К. Прокофьев, Г. Штандель, ЖЭТФ, 4, 359 (1934).

Академик В. В. ШУЛЕЙКИН

КИНЕМАТИКА ПРЕДЕЛЬНО-КРУТЫХ ВОЛН

Гидродинамические исследования прошлого века установили, что отношение высоты морских волн h к их длине λ не может превышать некоторую предельную величину (0,143) без нарушения устойчивости движения. Одновременно было выяснено, что предельно-крутая волна обладает угловой точкой на вершине, близ которой почти прямолинейные клоны сходятся под углом 120° . Все эти выводы были получены формальным путем посредством анализа линий тока в системе, которой придано воображаемое движение со скоростью, равной скорости волн и направленной в противоположную сторону. Совсем не рассматривалось движение частиц воды относительно неподвижной системы координат.

В настоящее время возможно исследовать истинную картину движения, исходя из кинематических представлений, изложенных в одной из наших статей ⁽¹⁾. Там было доказано, что условия неразрывности порождают пульсацию поступательного движения вод, связанного с волнением. В отсутствие ветра колеблется на протяжении длины волны скорость w того слабого потока, который прежде считался постоянным. При ветре вместе с тем колеблется скорость u дрейфового течения, которая прежде тоже считалась постоянной.

Обозначив через v линейную скорость движения частиц по их круговым орбитам, можно записать на основании ⁽¹⁾ общее соотношение:

$$\frac{w+u}{v} = \left(\frac{r_0}{R} + \frac{\bar{u}}{v} \right) + \frac{r_0}{R} \left(1 + \frac{\bar{u}}{v} \right) \cos \theta, \quad (1)$$

в котором r_0 обозначает радиус орбиты поверхностной частицы, R — так называемый радиус круга качения, а θ — фазовый угол, отсчитываемый от нижней части координатной оси Y ; через \bar{u} обозначена скорость дрейфового течения, осредненная во времени, за один период.

Если бы отсутствовали пульсации скоростей, то волна обладала бы формой трохойды, перемещающейся со скоростью c при штиле и со скоростью $c+u$ при наличии дрейфового течения. В действительности профиль волн описывается уравнениями

$$x = R\theta + a \sin \theta, \quad y = b \cos \theta, \quad (2)$$

в которых a и b представляют собой полуоси некоторого вспомогательного эллипса. Малая полуось b (вертикальная) равна r_0 , а большая a (горизонтальная) связана с ней общим соотношением:

$$\frac{a}{b} = 1 + \frac{r_0}{R} \left(1 + \frac{\bar{u}}{v} \right). \quad (3)$$

Вершины волн заостряются тем более, чем больше отличается a от b . Воспользуемся уравнением (1) для построения профилей волн при различных частных значениях r_0/R и \bar{u}/v . При этом начнем с простейших случаев, соответствующих штилевым условиям: $\bar{u} = 0$.

Пусть $h/\lambda = 0,143$. Тогда, очевидно, $r_0/R = \pi h/\lambda = 0,45$ и, наконец, $\frac{\omega}{v} = 0,45(1 + \cos \theta)$.

На рис. 1 а слева вычерчена эпюра изменения скоростей. Масштаб выбран с таким расчетом, чтобы каждый вектор представлял путь пройденный частицей в горизонтальном направлении за $1/24$ час периода волны. В своем орбитальном движении частица опишет тот же срок дугу, равную $1/24$ от окружности орбиты. В результате сложения движений водная частица последовательно окажется в

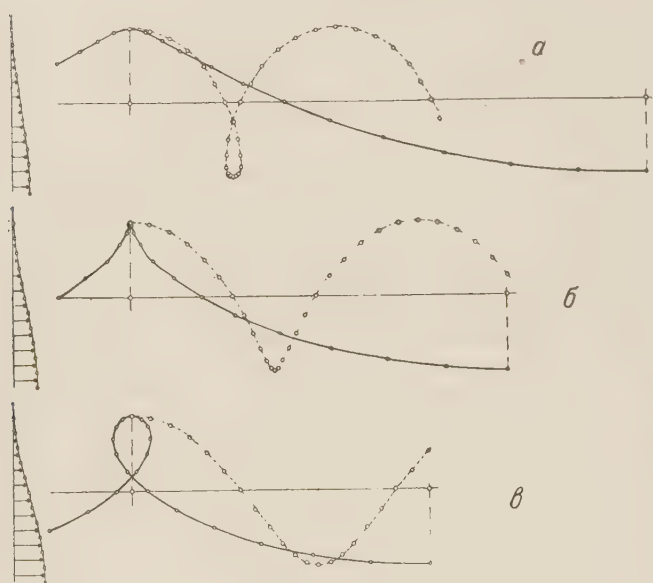


Рис. 1

точках, которые обозначены кружками на рис. 1 а, через определенные промежутки времени. Пунктирная кривая изображает траекторию поверхности частицы. За полпериода при изменении фазового угла от $\theta = \pi$ до $\theta = 2\pi$ частица проходит по этой траектории от своего верхнего положения на рис. 1 а до первого нижнего.

Так же просто строится и профиль волны. На основании отметим на оси абсцисс точки, в которые проходит центр кругов

орбиты в моменты, отделенные друг от друга промежутками времени $T/24$. При этом учтем изменения скорости переносного движения в соответствии с эпюрой рис. 1 а и отставание по фазе на дугу 2π в орбитальном движении при смещении вперед на каждый новый этап. В результате получим профиль волны, изображенный на рис. сплошной кривой. Как видим, он характеризуется прямолинейными очертаниями склонов на подходах к вершине, причем угол между прямыми равен 120° , в соответствии с точной формальной теорией. Неточность получилась у нас лишь у самой вершины, где отсутствует особая точка (угловая). Следует полагать, что эта неточность была бы устранена, если бы мы пожертвовали компактностью формул и удобством анализа соотношений и учли много членов в разложении в ряд логарифма, выводя формулу (9) в статье (1).

Было бы незаконно игнорировать неточность наших соотношений и стремиться к формальному получению угловой точки на вершине. Можно показать, что такая особая точка получилась бы при условии $\alpha = R$ и, соответственно, $r_0/R = 0,618$, $h/\lambda = 0,197$. Подобный вариант изображен на рис. 1 б, причем, как легко убедиться, здесь угол между касательными к склонам при вершине равен 0° . Этот формальный вариант столь же нереален, как была нереальна циклоида среди трихоидальных профилей.

Зато достаточно убедителен анализ последствий сверхмерного увеличения величины h/λ . Действительно, дадим этой величине заведомо завышенное значение. Например, положим: $h/\lambda = 0,25$ и, соответственно, $r_0/R = 0,785$. Тогда прежние приемы, основанные на уравнении (1), дадут профиль, изображенный на рис. 1 в. Эта схема выявляет причину разрушения вершин волн при переходе через предел

ное значение величины h/λ : сложение орбитального и поступательного движения тут приводит к возникновению петли на кривой профиля волн, а при этом, разумеется, невозможно устойчивое движение частиц воды.

Столь же очевидно, что при вполне точном решении кинематической задачи такая петля получилась бы непосредственно при переходе через параметры, характеризовавшие случай рис. 1 а т. е. при $h/\lambda > 0,143$.

Вспомним теперь уравнение (1) из статьи (1), связывающее между собой a , λ и коэффициент κ , который характеризует заостренность

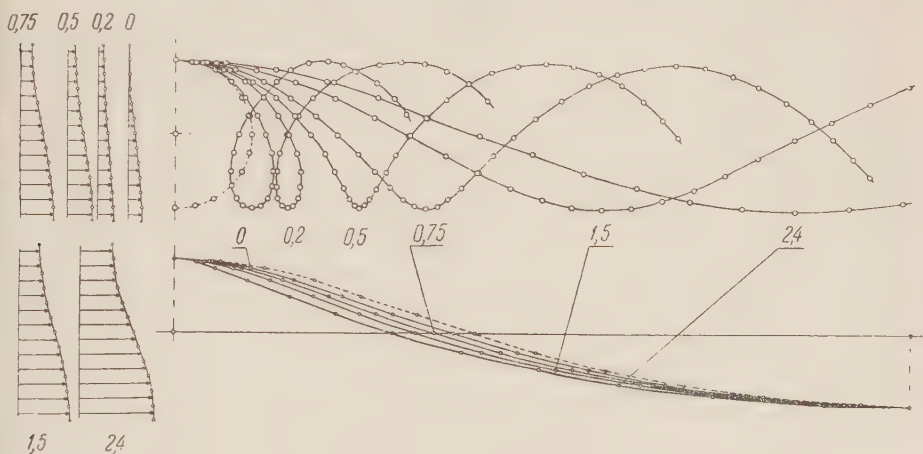


Рис. 2

вершин волн. Учтя при этом, что $R = \lambda/2\pi$, получим для предельно крутой волны (рис. 1 а) $a = 0,65 R$ вместо $a = R$, соответствовавшего формальному случаю рис. 1 б.

Таково кинематическое условие устойчивости волн.

Исследуем те выводы, которые вытекают из него в случае распространения волн ветровых. Докажем, что на ветру волны могут разрушаться при меньших значениях h/λ и при более тупых углах у вершин. Зададимся определенным значением величины h/λ , наблюдающимся в природе: $h/\lambda = 0,1$. В соответствии с этим будет: $r_0/R = 0,314$.

На рис. 2 построена серия траекторий поверхностных частиц на волне и серия профилей волн посредством прежнего метода, использующего общее уравнение (1). Слева изображены эпюры скоростей переносного движения, масштаб которых выбран, исходя из прежних соображений. Траектории частиц построены в верхнем ярусе чертежа, применительно к различным значениям осредненной скорости дрейфового течения: $\bar{u}/v = 0; 0,2; 0,5; 0,75; 1,5$ и $2,4$. Точки, обведенные кружками, попрежнему разделены промежутками времени $T/24$. Цифры, поставленные под траекториями, отмечают соответствующие значения \bar{u}/v . От тех же цифр проведены указатели к профилям волн, которые им отвечают. Для сравнения на рис. 2 нанесена пунктиром трохоида, построенная применительно к тому же значению $h/\lambda = 0,1$; ей соответствовала бы траектория в форме окружности, тоже нанесенной пунктиром на рис. 2.

Как видим, даже в отсутствие ветра ($\bar{u}/v = 0$) действительный профиль волн отличается от трохоиды. При наличии ветра величина \bar{u}/v возрастает по мере нарастания скорости ветра, создающего дрейфовое течение, при всех прочих равных условиях. В соответствии с этим все более и более заостряются вершины волн, изобра-

женных на рис. 2, как и следовало ожидать, на основании уравнения (3). Коэффициент κ последовательно принимает значения: 0,583, 0,53, 0,47 и 0,41, в то время как для трохойды он составлял 0,667.

Но ведь отсюда вытекает, что при некотором определенном значении \bar{u}/v заостренность вершин должна оказаться критической, после которой невозможно устойчивое движение ветровой волны. Действительно, переписав соотношение (3) в иной форме, также заимствованной из (1):

$$\frac{\bar{u}}{v} = \frac{R}{r_0} \left(\frac{a}{b} - 1 \right) - 1. \quad (4)$$

Дадим величине a , входящей сюда, предельное значение $a = 0,65 R$, найденное выше, и учтем, что $b = r_0$. Тогда окажется, что критическая скорость дрейфового течения $\bar{u}_{кр}$ (осредненная за период) определяется простой формулой:

$$\left(\frac{\bar{u}}{v} \right)_{кр} = 0,65 \left(\frac{R}{r_0} \right)^2 - \frac{R}{r_0} - 1. \quad (5)$$

При превышении этой скорости дрейфового течения на волнах должны были бы возникать неустойчивые образования типа схемы рис. 1 в. Именно в таких условиях на вершинах ветровых волн возникают пенные белые барашки.

В частном случае $h/\lambda = 0,1$, соответствующем рис. 2, формула (5) дает $\left(\frac{\bar{u}}{v} \right)_{кр} = 2,4$. Этому значению отвечает предельно крутой профиль ветровой волны, построенный на рис. 2. Так же как и на схеме рис. 1 а, здесь нет угловой точки на вершине из-за неточности наших формул. Однако попрежнему хорошо виден основной характер предельно крутой волны с ее прямолинейными склонами близ вершины. Угол между ними тут равен 140° .

Как уже отмечалось в (1), скорость \bar{u} , входящая в (4), а значит и в (5), превышает скорость собственно-дрейфового течения, поскольку на самой поверхности моря должен существовать тонкий слой, передающий воздействие трения от ветра слоям потенциального потока.

С другой стороны, возникновение барашков должно облегчаться еще тем, что по поверхности основных штормовых волн распространяются более крутые и короткие волны высоких порядков. Эти вторичные и третичные волны обладают меньшими значениями орбитальной скорости v и меньшими значениями R/r_0 , а потому, согласно (5), разрушаются в первую очередь.

Траектории частиц, изображенные на рис. 2, вполне соответствуют тем, которые были нами получены посредством фотографирования поплавков в бассейне. Отметим, что измерив разность L абсцисс максимума и минимума на траектории, легко вычислить осредненную скорость дрейфового течения по формуле:

$$\frac{\bar{u}}{v} = \frac{L}{\pi r_0} - \frac{r_0}{R}.$$

Это соотношение вытекает из уравнения (1) настоящей заметки.

Морской гидрофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
12 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. В. Шулейкин, ДАН, 95, № 5 (1954).

Г. Н. РАУТИАН и В. П. СОЛОВЬЕВА

ВЛИЯНИЕ ЯРКОСТНОГО УРОВНЯ НА ОСТРОТУ ЦВЕТОРАЗЛИЧЕНИЯ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 11 II 1954)

На ранее описанном приборе ⁽¹⁾, представляющем собой два спаренных трехцветных колориметра, нами были проведены некоторые наблюдения, которые позволяют оценить остроту цветоразличения вокруг ряда цветов на разных яркостных уровнях, вплоть до пределов цветовосприятия.

Определение порогов цветоразличения производилось тем же методом, что и в более ранней нашей работе ⁽¹⁾. Участвовал только один наблюдатель с нормальным цветным зрением, которое было проверено на нашем новом аномалоскопе ⁽²⁾; пороги же при начальном высоком уровне яркости (B_0) были определены тремя наблюдателями также с проверенным нормальным цветным зрением.

Всего было исследовано 8 цветов с указанными в табл. 1 значениями координат цветности x , y и яркости B_0 . Там же указаны имевшие место при наблюдении в окуляр значения освещенности на сетчатке E (в троландах).

Таблица 1

Цветность	1. Зелен.	2. Желт.	3. Красн.	4. Светло-пурпур.	5. Белый	6. Синий	7. Желто-зелен.	8. Красно-пурпур.
x	0,277	0,491	0,630	0,375	0,333	0,265	0,332	0,509
y	0,505	0,430	0,295	0,256	0,336	0,209	0,477	0,282
$B \cdot 10^4$, сб.	$32 \cdot 10^{-4}$	$28 \cdot 10^{-4}$	$28 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$37 \cdot 10^{-4}$	$33 \cdot 10^{-4}$
E , трол.	225	200	200	120	142	28	260	232

При помощи небольшого быстро вращаемого маленьким моторчиком диска с двумя отверстиями секторной формы и переменного угла раскрытия достигались изменения указанного в табл. 1 яркостного уровня B_0 в 10 и в 100 раз. Кроме того, применялось еще уменьшение яркости в 370 и в 1150 раз, которое достигалось при помощи двух нейтральных стеклянных светофильтров, которые имели значения коэффициента общего пропускания $\tau_1 = 0,272$ и $\tau_2 = 0,087$ и комбинировались с секторным диском.

Измерения яркости поля зрения B_0 при помощи тубус-фотометра дали результаты, представленные в табл. 1 (в стильбах — B_0 и в троландах — E_0).

На рис. 1 все полученные в данной работе пороговые эллипсы представлены совместно, а именно, здесь даны центральные проекции эллипсов κ , z ⁽¹⁾ на плоскость международного графика x , y . Здесь отчетливо выступает, помимо общего роста порогов цветоразличения по мере снижения яркости, еще резкое усиление этого роста в случае двух последних эллипсов ($0,0027 B_0$ и $0,0009 B_0$).

На рис. 2 представлен в виде группы кривых ход изменения длины больших и малых полуосей пороговых эллипсов (в относительной мере) в функции яркости поля зрения ($\log B$) и освещенности (E , трол.) на сетчатке (при искусственном зрачке ~ 3 мм в диаметре).

Перегиб в обеих группах кривых приходится довольно явно на сравнительно узкую область значений E , примерно 1—2 трол. Эти значе-

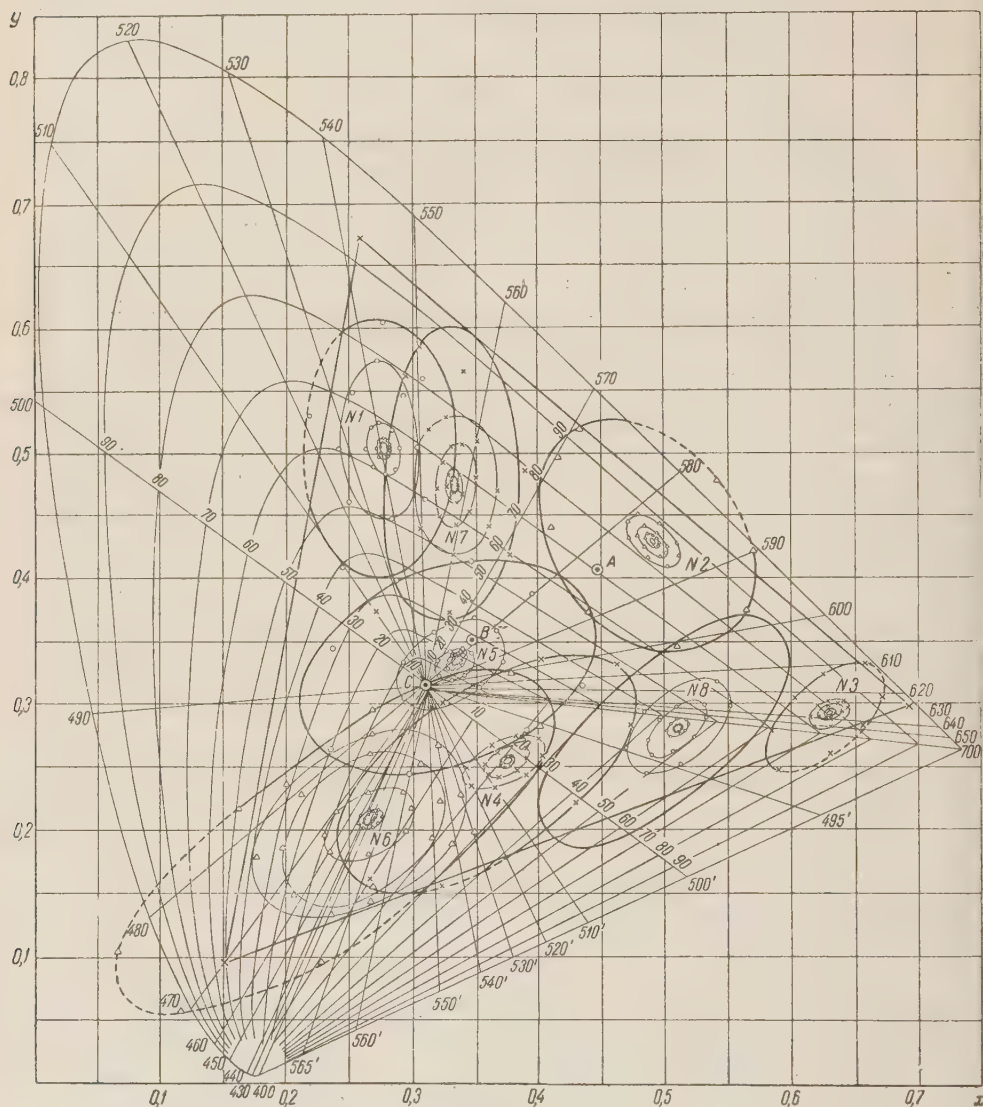


Рис. 1

ния надо, таким образом, рассматривать как природную пограничную полосу для зрительного анализатора, выше которой он функционирует с удовлетворительной устойчивостью, а ниже ее цветоразличение уже явно находится в неблагоприятных условиях.

Если рассматривать 3-кратное увеличение порогов как приближающее цветоразличение к явной цветослабости ⁽³⁾ и если найти из наших данных те значения яркости, когда такое ухудшение цветоразличения наступает, то это будут в наших условиях значения $E \sim 1-7$ трол., т. е. порядка нескольких единиц, не более одного десятка троландов.

Поставив такой же вопрос относительно 20-кратного увеличения порога, что соответствует уже зрению ахроматического типа, получаем для E значения в пределах 0,1—0,2 трол. Наш наблюдатель утверждал с определенностью, что при яркости 0,0027 B_0 ($\sim 0,5$ трол.) все без исключения поля представились ему определенно цветными, в то время как 000-кратное ослабление яркости (до $E \equiv 0,1$ —0,2 трол.) приводило большей частью и почти полностью к обесцвечиванию поля зрения. Но все же изменения цвета в некоторых направлениях, а именно в сторону красной и синей вершин цветового треугольника прибора, отличались тем, что воспринимались как цветные — как «покраснение», «посинение»... В то же время «пожелтение» уже не наблюдалось, и соответственные изменения цвета в «зеленую» сторону воспринимались скорее как яркостные — как «потемнение» или «посветление». Таким образом, в узкой области значений $E = 0,5$ —0,1 трол. и лежит, повидимому, «мезопическая» зона перехода от нормального цветоразличения к бесцветному сумеречному зрению.

В недавно появившейся статье Миддлтона и Майо ⁽⁴⁾ описываются наблюдения над цветовосприятием в сумерках. По их данным, переходными значениями освещенности на сетчатке также надо считать 0,2—0,1 трол., когда большая часть цветов, и в частности желто-зеленые и голубые, уже не опознаются правильно или совсем не воспринимаются. С другой стороны, можно утверждать, что в случае достаточной начальной яркости ($E > 20$ трол.) изменения яркостного уровня в несколько раз, в пределах по меньшей мере десятикрат, следует рассматривать, как вообще не сказывающиеся ощутительно на остроте цветоразличения.

К такому же заключению приходит и Броун ⁽⁵⁾, указывая для переходной яркости значение $3 \cdot 10^{-4}$ сб (~ 20 трол.), выше которого цветоразличение является стабильным, а ниже быстро падает.

Здесь стоит отметить, что нормальные индивидуальные вариации по остроте цветоразличения должны расцениваться как лежащие тоже в

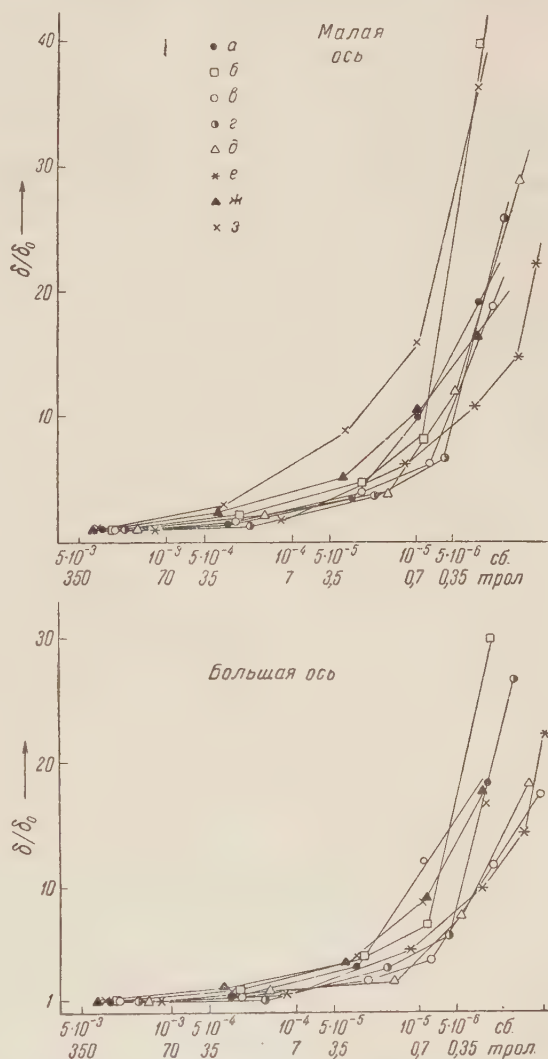


Рис. 2. a — зеленый, b — желтый, v — пурпурно-красный, g — светлопурпурный, d — белый, e — синий, $ж$ — желто-зеленый, $з$ — пурпурный

пределах 2-кратного изменения величины порогов ⁽³⁾. К тому же изменению яркости B в значительной мере скрадываются рефлекторным расширением зрачка, которое фактически существенно завышает значения. Все это позволяет заключить, что найденные нами ранее ⁽¹⁾ величины порогов цветоразличения могут быть использованы в весьма широкой области яркостей, отвечающей освещенностям на сетчатке $E > 20$ трол. до 500 трол. без особых коррективов на влияние яркостного уровня.

Поступило
29 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Н. Раутиан, ДАН, 92, № 5, 943 (1953). ² Г. Н. Раутиан, ДАН, 77, № 1, 99 (1950). ³ Г. Н. Раутиан, ДАН, 81, № 5, 815 (1951). ⁴ K. Middleton, E. Mayo, J. O. S. A., 42, No. 2, 116 (1952). ⁵ W. R. Brown, *ibid.*, 41, 68 (1951).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. В. ГАПОНОВ и М. Л. ЛЕВИН

К ТЕОРИИ ТОНКИХ АНТЕНН В ЭНДОВИБРАТОРАХ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 15 II 1954)

Задача о возбуждении эндовибратора с щелевой антенной на резонансной частоте была решена Фельдом (1). Здесь мы изложим другой метод решения этой задачи, который, во-первых, менее формален, чем метод Фельда, и, во-вторых, позволяет рассмотреть более общую задачу об эндовибраторе с несколькими щелевыми или металлическими антеннами. Для сокращения записи мы дальше будем считать все антенны металлическими. Так как структура интегро-дифференциальных уравнений для металлических (2) и щелевых (1) антенн одинакова, то полученные нами результаты носят общий характер и верны для любой комбинации антенн обоих типов.

1. Если в эндовибраторе, возбуждаемом заданными сторонними токами плотности $je^{i\omega t}$, находится N тонких металлических антенн, то токи в этих антеннах удовлетворяют системе интегро-дифференциальных уравнений (2):

$$J_p'' + k^2 J_p = ikc\chi_p \left\{ K_p + G_p [J_p] + \sum_{q \neq p} \mathcal{G}_{qp} [J_q] \right\} \quad (p = 1, 2, \dots, N), \quad (1)$$

где K_p — поле сторонних токов на p -й антенне; \mathcal{G}_{qp} — поле q -й антенны на p -й; G_p — интегро-дифференциальный оператор, равный полю p -й антенны на себе самой за вычетом квазистационарного члена (под полем понимается его составляющая по оси антенны); χ_p — логарифмический параметр малости; $k = \omega/c$. Координату, отсчитываемую вдоль p -й антенны, обозначим через s_p ($0 \leq s_p \leq l_p$).

Вихревые части электрического и магнитного полей в эндовибраторе (стенки которого мы будем считать идеально проводящими) могут быть, как известно (3), разложены по полной ортонормальной системе действительных векторных функций E^a, H^a :

$$E_{\text{вих}} = \sum e_a E^a, \quad H_{\text{вих}} = i \sum h_a H^a, \quad (2)$$

где E^a, H^a удовлетворяют уравнениям

$$\text{rot } E^a = k_a H^a, \quad \text{rot } H^a = k_a E^a$$

и обычным граничным условиям на поверхности идеального провод-

* Подробное об обозначениях см. (2).

ника. Если эти функции нормированы на объем эндовибратора V , то коэффициенты Фурье e_a и h_a равны:

$$e_a = -\frac{ik}{c} A_a, \quad h_a = -\frac{ik_a}{c} A_a, \quad (3)$$

где

$$A_a = \frac{4\pi}{k_a^2 - k^2} F_a, \quad F_a = \frac{1}{V} \int_V j E^a dV. \quad (4)$$

Здесь j — плотность полного тока, возбуждающего эндовибратор. В нашем случае полный ток складывается из сторонних токов и токов в антеннах, так что

$$F_a = \frac{1}{V} \left\{ \int_V j_0 E^a dV + \sum_{p=1}^N \int_{l_p} J_p E_p^a \right\} ds_p, \quad (5)$$

где E_p^a есть составляющая поля E^a по оси p -й антенны.

2. Эндовибратор с внесенными в него антеннами (или с прорезанными в его стенках щелями) можно рассматривать как «новый» эндовибратор, собственные частоты которого, очевидно, слегка отличаются от частот «старого», невозмущенного эндовибратора, независимо от того, происходит ли в этих антеннах (щелях) рассеяние энергии или нет. Поэтому процесс возбуждения эндовибратора можно описывать двояко: или как возбуждение «нового» эндовибратора (с новыми собственными функциями и частотами) заданными сторонними токами J_p , или как возбуждение «старого» эндовибратора (далее мы снова будем называть его просто эндовибратором) сторонними токами и подлежащими определению токами в антеннах.

Пусть ω_0 — одна из собственных частот эндовибратора, которому принадлежат μ собственных функций E^ν , H^ν ($\nu = 1, 2, \dots, \mu$). Внесение антенн снимает вырождение, причем, вообще говоря, ни одна из новых собственных частот не совпадает с ω_0 (о случае совпадения см. п. 4). Поэтому при $\omega \rightarrow \omega_0$ поле, возбуждаемое сторонними токами в присутствии антенн остается конечным. Следовательно, при $\omega \rightarrow \omega_0$ величины F_ν должны стремиться к нулю, т. е. в антеннах должны устанавливаться такое распределение токов, чтобы полная плотность тока j была бы ортогональна ко всем векторным функциям E^ν .

Заметим, что поля, создаваемые по отдельности токами в разных антеннах и сторонними токами, имеют при $\omega \rightarrow \omega_0$ обычную резонансную особенность, и только сумма этих полей остается конечной. Так как G_p есть поле антенны на себе самой за вычетом квазистационарного члена, не имеющего резонансного характера, то резонансная особенность G_p совпадает с особенностью поля G_{pp} . Поэтому, пользуясь (2) — (4), мы можем переписать основные уравнения (1) в виде

$$J_p + k^2 J_p = k^2 \chi_p \sum_{\nu=1}^{\mu} A_\nu E_\nu^\nu + \chi_p R_p, \quad (6)$$

где мы выделяли члены, относящиеся к частоте ω_0 (здесь и далее мы считаем $k = k_0$), и обозначили через R_p нерезонансный остаток. В частности, в R_p входят члены, описывающие поглощение энергии в антеннах (в уравнениях (1) эти члены не выписаны).

Величины A_ν тем больше, чем меньше разности между новыми собственными частотами и ω_0 , как-то зависящие в свою очередь от параметров малости χ_p . Поэтому, решая систему (6) обычным методом возмущений (2), мы должны оставить в уравнениях нулевого прибли-

нения по χ резонансные члены и писать эти уравнения следующим образом:

$$J_p'' + k^2 J_p = k^2 \chi_p \sum_{v=1}^{\mu} A_v E_{pv}^v \quad (7)$$

Физический смысл пока еще не определенных величин A_v ясен из (3). Совокупность уравнений (7) можно рассматривать как аналог «промежуточного» интеграла уравнения Фельда для одной щели (1). Следует заметить, что сам «промежуточный» интеграл Фельда не может быть непосредственно обобщен на случай нескольких антенн в уравнения (7), так как в методе Фельда величины A_v появляются как постоянные интегрирования, и ничто не указывает на то, что они одинаковы для различных антенн.

3. В дальнейшем мы для определенности будем считать все антенны незамкнутыми: $J_p(0) = J_p(l_p) = 0$. Пусть из общего числа N антенн n настроенными (их длина равна целому числу полуволн) являются первые n . Тогда общее решение уравнений (7), удовлетворяющее граничным условиям $J_p(0) = 0$, есть

$$\begin{aligned} J_p &= \chi_p \left\{ A_0^p \sin k s_p + \sum_{v=1}^{\mu} A_v \varphi_p^v(s_p) \right\}, \quad p \leq n, \\ J_p &= \chi_p \sum_{v=1}^{\mu} A_v \varphi_p^v(s_p), \quad p > n, \end{aligned} \quad (8)$$

где A_0^p ($p = 1, 2, \dots, n$) — постоянные интегрирования, а

$$\varphi_p^v(s) = k \int_0^s E_p^v(x) \sin k(s-x) dx, \quad p \leq n;$$

$$\begin{aligned} \varphi_p^v(s) &= -\frac{k}{\sin k l_p} \left\{ \sin k(l_p - s) \int_0^s E_p^v(x) \sin kx dx + \right. \\ &\quad \left. + \sin ks \int_s^{l_p} E_p^v(x) \sin k(l_p - x) dx \right\}, \quad p > n, \end{aligned}$$

безразмерные функции распределения, причем для расстроенных антенн ($p > n$) φ_p^v сразу выбраны так, чтобы $\varphi_p^v(l_p) = 0$, т. е. чтобы удовлетворялось и второе граничное условие $J_p(l_p) = 0$.

Решение (8) содержит $n + \mu$ неопределенных величин: n постоянных интегрирования A_0^p и μ коэффициентов A_v . Для их нахождения мы воспользуемся n оставшимися граничными условиями для настроенных антенн:

$$J_p(l_p) = 0, \quad p \leq n,$$

μ условиями конечности полей: $F_v = 0$ ($v = 1, 2, \dots, \mu$). Вводя для удобства записи единый параметр малости χ ($\chi_p = \alpha_p \chi$, все α_p порядка единицы) и безразмерные коэффициенты

$$\begin{aligned} T_{0v}^p &= k \alpha_p \int_{l_p} E_p^v \sin ks ds, \quad p \leq n, \\ T_{\sigma v} &= \sum_{p=1}^N k \alpha_p \int_{l_p} E_p^v \varphi_p^v ds, \end{aligned}$$

зависящие, в конечном счете, только от геометрии эндовибратора антенн, мы можем записать эти условия в виде

$$\sum_{\sigma=1}^{\mu} T_{\sigma\sigma}^p A_{\sigma} = 0, \quad p = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

$$\sum_{\sigma=1}^{\mu} T_{\sigma\gamma} A_{\sigma} + \sum_{p=1}^n T_{\sigma\gamma}^p A_0^p = -\frac{I_{\gamma}}{\chi}, \quad \gamma = 1, 2, \dots, \mu,$$

где $I_{\gamma} = k \int_V i_0 E^{\gamma} dV$ — величины, имеющие, очевидно, тот же порядок, что и сторонний ток, возбуждающий эндовибратор.

4. При некоторой специальной конфигурации антенн система (9) может иметь бесконечно большие решения (для этого необходимо конечно, обращение детерминанта системы в нуль). Физически это означает, что для данной конфигурации, по крайней мере, одна из новых собственных частот совпадает* с ω_0 . Как и раньше, мы будем предполагать, что это не имеет места, т. е. что поле в эндовибраторе конечно.

Возможны три случая:

а) $n < \mu$. В этом случае система (9) определяет величины A_{ν} и A_0^p все, вообще говоря, отличные от нуля и имеющие порядок I/J (J — амплитуда стороннего тока). Следовательно, даже в нулевом приближении, токи во всех (в том числе и в настроенных) антеннах несинусоидальны и имеют порядок I .

б) $n = \mu$. Если детерминант матрицы $T_{\sigma\sigma}^p$ отличен от нуля (тот специальный случай, когда он равен нулю, как и другие вырожденные случаи, мы здесь не будем рассматривать), то все $A_{\nu} = 0$. Система сводится к

$$\sum_{p=1}^n T_{\sigma\sigma}^p A_0^p = -\frac{I_{\sigma}}{\chi}, \quad \sigma = 1, 2, \dots, \mu. \quad (10)$$

Таким образом, в нулевом приближении токи в ненастроенных антеннах равны нулю, а в настроенных имеют синусоидальное распределение. Амплитуды этих токов имеют порядок I и однозначно определяются системой (10).

в) $n > \mu$. В этом случае опять все $A_{\nu} = 0$, но система (10), чисел уравнений в которой меньше числа неизвестных, уже не определяет однозначно амплитуды синусоидальных токов в настроенных антеннах. Для их полного определения нужно, как и в теории антенн в свободном пространстве (2), иметь дело с правой частью уравнений, получающихся из (6) в следующем за нулевым приближении, т. е. с остаточными операторами R_p .

Поступило
2 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Я. Н. Фельд, Основы теории щелевых антенн, М., 1948. ² М. Леонтович, М. Левин, ЖТФ, 14, 481 (1944). ³ Дж. Слэтер, Электроника сверхвысоких частот, М., 1948.

* С той степенью точности, с какой вообще верна теория тонких антенн (2).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. Е. ЖАБОТИНСКИЙ и Д. А. ЛИСИЧКИН

**КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ
СВЯЗЬЮ И ИНЕРЦИОННОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

(Представлено академиком А. И. Бергом 12 II 1954)

Применение инерционной нелинейности для ограничения амплитуды колебаний и включение кварцевого резонатора в схему моста, в одно из плеч которого включалась инерционная нелинейность, позволило свести вариации частоты генератора к величинам порядка 10^{-8} (1). Рассмотрение таких генераторов без учета фазовых сдвигов в усилителе (2) не дает возможности вскрыть принципиальные недочеты схемы и указать пути построения более совершенных схем. Как известно, основными причинами, вызывающими отклонение генерируемой частоты от резонансной, являются непосредственное воздействие схемы на кварцевый резонатор и влияние нелинейностей характеристик ламп (см., например, (3, 4)), однако включение инерционной нелинейности практически исключает влияние нелинейности характеристик ламп. Как указано в работе (5), схема мостового генератора может трактоваться как схема обычного генератора с селективной положительной обратной связью, усилительная часть которого охвачена отрицательной обратной связью; авторы этой работы предложили также исключить из схемы мост за счет применения на входе усилителя дифференциального каскада; они не занимаются, однако, вопросом о стабильности частоты, ограничиваясь рассмотрением стабильности амплитуды.

Ниже будет кратко изложена теория действия кварцевого генератора с отрицательной обратной связью и инерционной нелинейностью и указаны пути дальнейшего повышения стабильности частоты кварцевых генераторов.

Рассмотрим усилитель с комплексным коэффициентом усиления $\bar{k} = G(\omega) e^{i\theta(\omega)}$, охваченный неселективной отрицательной обратной связью β и весьма селективной положительной обратной связью $\bar{\alpha} = M(\omega) e^{i\varphi(\omega)}$, селективность которой определяется кварцем.

Стационарное состояние описывается уравнением

$$(\bar{\alpha} - \beta) \bar{k} = 1, \quad (1)$$

которое вместе с характеристикой цепи с инерционной нелинейностью полностью определяет процессы в генераторе в рабочем режиме*.

Учитывая наличие отрицательной обратной связи, введем эквивалентный усилитель

$$\bar{k}_0 = \frac{\bar{k}}{1 + \beta \bar{k}}. \quad (2)$$

* В случае мостовых генераторов величина $\bar{\alpha} - \beta = \bar{\mu}$ представляет коэффициент передачи моста.

При этом уравнение (1) переходит в

$$\overline{k}_3 \overline{\alpha} = 1.$$

Точное решение уравнения (3) показывает, что для достижения высокой стабильности необходимо обеспечить малый сдвиг фаз в усилителе. При этом параметры эквивалентного усилителя с точностью до малых высшего порядка выражаются через параметры схемы следующими зависимостями:

$$|\overline{k}_3| = G_3 = \frac{G}{1 + \beta G}; \quad \theta_3 = \frac{\theta}{1 + \beta G}.$$

Равенства (4) выражают тот факт, что для уменьшения фазовой неустойчивости усилителя следует увеличивать βG . Вопрос о рациональном выборе схемы усилителя будет освещен ниже.

Уравнение (3) распадается на два уравнения:

$$\theta_3 + \psi = 0.$$

$$G_3 M = 1.$$

При вариации значений параметров схемы в ней установится новое стационарное состояние, при котором вновь будут выполнены условия баланса фаз (5) и баланса амплитуд (6). При этом для приращений фаз получается уравнение

$$d(\theta_3 + \psi) = 0,$$

а для приращений амплитуд с точностью до малых высшего порядка уравнение

$$d(G_3 M) = 0.$$

Учитывая, что θ_3 и ψ являются функциями частоты и параметров схемы: $\theta_3 = \theta_3(\omega, p_i)$; $\psi = \psi(\omega, q_i)$, и учитывая, что $\frac{\partial \theta_3}{\partial \omega} \ll \frac{\partial \psi}{\partial \omega}$ (фазовая характеристика усилителя гораздо положе фазовой характеристики кварца), получим из (7):

$$d\omega = \frac{\sum \frac{\partial \theta_3}{\partial p_i} dp_i}{\left. \frac{\partial \psi}{\partial \omega} \right|_{\omega_0}} + \frac{\sum \frac{\partial \psi}{\partial q_i} dq_i}{\left. \frac{\partial \psi}{\partial \omega} \right|_{\omega_0}},$$

где в правой части первый член представляет влияние на генерируемую частоту фазы усилителя, а второй член — влияние фазы цепи положительной обратной связи.

Уменьшить влияние второго члена можно только, уменьшая его величину непосредственным поддержанием постоянства температуры и других внешних факторов. Так как нашей целью является уменьшение влияния на частоту параметров схемы, то в дальнейшем мы будем изучать только первый член (9), не обращая внимания на второй член.

Числитель первого члена можно получить, дифференцируя второе из равенств (4):

$$d\theta_3 = \frac{d\theta}{1 + \beta G} + \frac{\theta (G d\beta + \beta dG)}{(1 + \beta G)^2} \approx \frac{d\theta}{\beta G} + \frac{\theta}{\beta G} \left(\frac{d\beta}{\beta} + \frac{dG}{G} \right).$$

Знаменатель выражения (9) определяется цепью положительной обратной связи. Если эта цепь состоит из кварцевого резонатора и сеточной цепи дифференциального каскада, то в нашем приближении

$$\left. \frac{d\psi}{d\omega} \right|_{\omega_0} = - \frac{2Q}{\omega_0 (1 + \gamma)},$$

где Q — добротность кварцевого резонатора; $\gamma = R/r$; R — сопротивление утечки сетки; r — сопротивление потерь кварца. Заметим, что при этом $M = \frac{\gamma}{1+\gamma}$, а при больших значениях G , кроме того, $\beta \cong M$. Учитывая это, а также (10) и (11), получим из первого члена (9):

$$\frac{d\omega}{\omega_0} = \frac{(1+\gamma)^2}{2\gamma QG} \left[-d\theta + \theta \left(\frac{dG}{G} + \frac{d\beta}{\beta} \right) \right]. \quad (12)$$

Для достижения наибольшей стабильности выражение $\frac{(1+\gamma)^2}{\gamma}$ должно иметь минимум, что достигается при $\gamma = 1$. В дальнейшем будем считать всюду $\gamma = 1$.

Выражение (12) является следствием условия баланса фаз (7). В стационарном состоянии величины, входящие в (7), а следовательно, и в (12), связаны, кроме того, условием баланса амплитуд (8), которое должно быть учтено для определения свойств схемы в стационарном состоянии.

Из (8) получаем

$$\frac{dG_s}{G_s} + \frac{dM}{M} = 0.$$

В нашем приближении

$$\frac{dG_s}{G_s} = \frac{\frac{dG}{G} - \beta G \frac{d\beta}{\beta}}{1 + \beta G},$$

$$\frac{dM}{M} = \frac{\theta}{1 + \beta G} Q \frac{d\omega}{\omega_0},$$

и (8) дает

$$\frac{d\beta}{\beta} = \frac{1}{\beta G} \left(\frac{dG}{G} + \theta Q \frac{d\omega}{\omega_0} \right); \quad (13)$$

подставив это в (12), получим

$$\frac{d\omega}{\omega_0} = -2 \frac{d\theta}{QG} + \frac{2\theta}{QG} \left(1 + \frac{1}{\beta G} \right) \frac{dG}{G}, \quad (14)$$

где в знаменателе мы пренебрегли членом $\frac{2\theta^2}{\beta G^2}$ по сравнению с единицей.

Уравнение (13) представляет в преобразованном виде условие баланса амплитуд, а уравнение (14) описывает поведение системы при одновременном выполнении условий баланса фаз и баланса амплитуд.

Уравнение (14) показывает, что если инерционная нелинейность, обеспечивающая баланс амплитуд, стоит в цепи отрицательной обратной связи, как это имеет место во всех схемах, описанных в литературе, то всякие изменения коэффициента усиления приводят к изменениям генерируемой частоты порядка

$$\frac{d\omega}{\omega_0} = \frac{2\theta}{QG} \frac{dG}{G}. \quad (15)$$

Для устранения этих влияний следует исключить инерционную нелинейность из цепи отрицательной обратной связи и сделать эту цепь не зависящей от режима работы. При этом $d\beta = 0$, и из (12) и (13) получается

$$\frac{d\omega}{\omega_0} = -2 \frac{d\theta}{QG}, \quad (16)$$

т. е. изменения частоты в этом случае обусловлены только вариациями фазы усилителя.

Инерционная нелинейность, необходимая для поддержания баланса амплитуд, при этом должна быть включена в самом усилителе, кото-

рый при этом можно рассматривать как охваченный двумя независимыми трактами отрицательной обратной связи — обычной безинерционной обратной связью β , приводящей к стабилизации параметров усилителя (G , и θ), и инерционной отрицательной обратной связью, обеспечивающей выполнение баланса амплитуд в линейном участке характеристик усилительных ламп*.

Отметим, что величина (15) становится меньше величины (16) лишь при выполнении неравенства $\frac{dG}{G} < \frac{d\theta}{\theta}$, которое не может быть обеспечено в эксплуатационных условиях; поэтому предлагаемое нам перенесение инерционной нелинейности из моста в усилитель является радикальным и принципиально новым методом повышения стабильности частоты.

В заключение остановимся кратко на выборе схемы усилителя, обеспечивающей дополнительное повышение стабильности частоты благодаря действию отрицательной обратной связи.

Как указано выше, наибольшая стабильность достигается при $\gamma = 1$, т. е. при $\beta = 0,5$. Нашей задачей является выбор схемы, обеспечивающей наибольшую величину βG без нарушения устойчивости усилителя.

Применение многокаскадных усилителей, охваченных внутренними обратными связями β_1 , оказывается нерациональным, ибо при этом в случае n одинаковых каскадов общий фазовый сдвиг уменьшается в $\beta_1 G_1$ раз, а общий коэффициент усиления уменьшается в $(\beta_1 G_1)^n$ раз, что соответственно ухудшает действие основной обратной связи.

Анализ показывает, что в диапазоне средних частот (десятки килоггерц) целесообразно применение трехкаскадных реостатных усилителей с цепями фазовой коррекции, что дает возможность получения устойчивого усиления порядка 10^5 . В области более высоких и более низких частот применение фазовой коррекции становится неэффективным, и приходится ограничиваться двухкаскадными усилителями. В области высоких частот целесообразно применение одного реостатного и одного резонансного каскада — достижимый устойчивый коэффициент усиления порядка 10^4 . (Два резонансных каскада при $\beta = 0,5$ возбуждаются вблизи резонансной частоты при G порядка нескольких сотен.) В области низких частот, повидимому, целесообразно применение двух реостатных каскадов с повышенными анодными нагрузками, при помощи которых можно получить общее усиление порядка 10^6 .

Изложенное открывает возможность дальнейшего повышения стабильности частоты кварцевых генераторов.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
10 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. A. Meacham, Proc. IRE, **26**, 1278 (1938). ² К. Ф. Теодорчик, Радиотехника, **2**, № 7, 3—7 (1947). ³ Б. К. Шембель, ЖТФ, **1**, 314 (1931).
⁴ Ю. Б. Кобзарев, Вестн. электротехники, № 10, 346 (1931); С. М. Рытов, А. М. Прохоров, М. Е. Жаботинский, ЖЭТФ, **15**, 557, 613 (1945).
⁵ E. J. Post, H. F. Pit, Proc. IRE, **39**, 169 (1951).

* Можно показать, что включение инерционной нелинейности в цепь положительной обратной связи (как это предлагалось в некоторых работах) приводит к такому же ухудшению стабильности частоты, как и включение ее в цепь отрицательной обратной связи.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. А. ПАВЛОВ *

**ВЛИЯНИЕ РАСПАДА ПЕРЕСЫЩЕННОГО ТВЕРДОГО РАСТВОРА,
ВЫЗВАННОГО ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ,
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АЛЮМИНИЙ — МЕДЬ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 16 II 1954)

Деформирование метастабильных твердых растворов в области температур, где пластическая деформация вызывает распад твердого раствора, сопровождается скачкообразной деформацией, аномальной зависимостью сопротивления деформированию от скорости деформации, увеличением сопротивления деформированию и т. д. ⁽¹⁻⁶⁾.

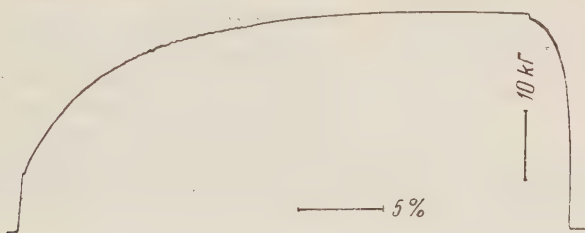


Рис. 1. Диаграмма растяжения сплава алюминия с 1,3% меди при 100°C

С другой стороны, в области температур, где превращения проходят достаточно интенсивно без помощи пластической деформации, а также при рекристаллизации наблюдается заметное понижение сопротивления деформированию ^(7, 8, 12).

Таким образом, эти данные устанавливают определенное взаимное влияние процессов пластической деформации и диффузии, однако вопрос остается еще недостаточно изученным.

В настоящей работе изучена температурная зависимость механических свойств чистого алюминия (99,97% Al) и сплава алюминия с 1,3% меди, распадающегося при пластической деформации в определенной области температур.

Образцами служили проволоки диаметром 1,95 мм и расчетной длиной 30 мм. Сплав алюминия с медью деформировался в закаленном состоянии. Каждый образец закаливался непосредственно перед испытанием. Растяжение образцов проводилось на специальной машине ⁽⁹⁾. При каждой температуре испытывалось не менее 4—5 образцов.

В области температур между +20 и +200 °C на диаграммах растяжения наблюдаются «зубцы» (рис. 1), а при 100 °C, кроме этого, — площадка текучести. Такой характер диаграмм растяжения говорит об интенсивном прохождении распада твердого раствора. Вследствие этого замедляется падение временного сопротивления с повышением темпера-

* В работе принимала участие Н. М. Иванова.

туры опыта (рис. 2), сильно возрастают равномерная деформация (рис. 3) и работа, затрачиваемая на равномерную деформацию (рис. 4). При 100 °С работа деформирования сплава в 1½ раза больше, чем для чистого алюминия, деформирующие напряжения больше почти в 2 раза и равномерное удлинение достигает значений, характерных для чистого алюминия.

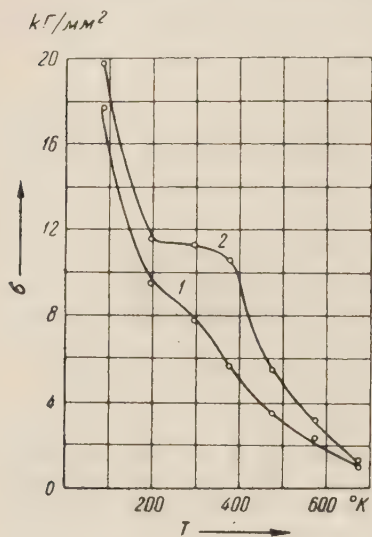


Рис. 2. Зависимость временного сопротивления от температуры деформирования: 1 — для чистого алюминия, 2 — для сплава алюминия с 1,3% меди

Такое сочетание механических свойств возникающее при распаде твердого раствора, трудно объяснить только одним появлением дисперсных выделений. Обычно при распаде алюминиевых сплавов наблюдается падение пластичности.

Наблюдаемые особенности протекания пластической деформации и необычные механические свойства распадающихся при пластической деформации твердых растворов, повидимому, связаны с диффузионными процессами, протекающим в твердом растворе при формировании выделений зародышевой новой фазы упруго-неоднородно напряженной решетки.

Как известно, наличие градиента упругих напряжений вызывает в некоторых твердых растворах восходящую диффузию (10). Образование при деформировании участков кристаллической решетки с различной величиной и знаком напряжений создает благоприятные условия для возникновения восходящей диффузии. Восходящая диффузия проходит не только в деформированном

жестком растворе при низком температурном отжиге, как это наблюдается, например, в латуни (11), но также, очевидно, и в момент самой пластической деформации при относительно низкой температуре.

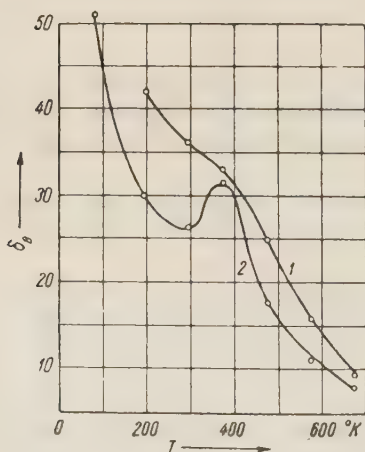


Рис. 3. Зависимость равномерного удлинения от температуры деформирования: 1 — для чистого алюминия, 2 — для сплава алюминия с 1,3% меди

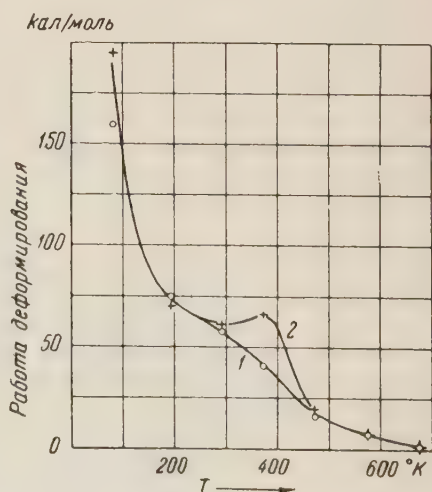


Рис. 4. Зависимость работы деформирования от температуры: 1 — для чистого алюминия, 2 — для сплава алюминия с 1,3% меди

ном твердом растворе при низком температурном отжиге, как это наблюдается, например, в латуни (11), но также, очевидно, и в момент самой пластической деформации при относительно низкой температуре.

Известно, что весьма небольшие напряжения, возникающие, например, при малых упругих колебаниях образца, даже при низких температурах, вызывают диффузию атомов примесей, растворенных в решетке образца. Эта диффузия обнаруживается по затуханию упругих колебаний⁽¹³⁾.

Восходящая диффузия создает неравномерность распределения примесей по объему твердого раствора. Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что при низкотемпературном отжиге в некоторых твердых растворах вследствие восходящей диффузии возникает весьма значительная неоднородность концентрации растворенных элементов⁽¹¹⁾, около линий скольжения наблюдается даже выделение новых фаз в ненасыщенном твердом растворе⁽¹¹⁾. Возникновение неравномерности распределения концентрации при восходящей диффузии в момент пластической деформации будет способствовать распаду метастабильных твердых растворов. Не исключена возможность возникновения распада в процессе деформирования и ненасыщенных твердых растворов.

С этой точки зрения возникновение скачкообразной деформации при распаде твердого раствора можно, повидимому, связать с разрядкой напряжений в момент выделения зародыша новой фазы и связанное с этим локальное прохождение деформации.

В заключение выражаю глубокую благодарность Э. С. Яковлевой за ценные советы и дискуссию.

Поступило
23 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Давиденков, Ф. Ф. Витман, Н. А. Златин, Сборн., посвящ. 70-летию акад. А. Ф. Иоффе, Изд. АН СССР, 1950, стр. 307. ² М. В. Якутович, Тр. Инст. физики металлов УФАИ СССР, в. 12, 121 (1948). ³ Г. Н. Колесников, Э. С. Яковлева, М. В. Якутович, ЖТФ, 19, 347 (1949). ⁴ Г. Н. Колесников, Э. С. Яковлева, М. В. Якутович, ЖТФ, 18, 1949 (1948). ⁵ A. Naddai, M. Maujoin, J. Appl. Mech., A 77 (1941). ⁶ Н. Ф. Сюткин, ДАН, 91, 83 (1953). ⁷ C. Wassermann, Arch. Eisenhüttenw., 6, 347 (1932/33). ⁸ E. Schmidt, C. Wasserman, Zs. f. Metallkunde, 23, № 8, 242 (1931). ⁹ В. С. Аверкиев, Г. Н. Колесников, В. А. Павлов, М. В. Якутович, ЖТФ, 16, 1349 (1946). ¹⁰ С. Т. Конобеевский, ЖЭТФ, 13, 200 (1943). ¹¹ С. О. Цобкалло, В. В. Латш, Изв. АН СССР, сер. физ., 17, 373 (1953). ¹² А. А. Бочвар, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1948). ¹³ C. Zeuer, Elasticity and Anelasticity of Metals, 1948.

Г. Б. БОКИЙ и С. С. БАЦАНОВ

К ВОПРОСУ О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТРАНС-ВЛИЯНИЯ

(Представлено академиком И. И. Черняевым 17 II 1954)

Взаимное влияние атомов во внутренней сфере комплексных соединений платины обуславливает различный характер связи платины с одним и тем же заместителем в зависимости от того, какой атом находится в транс-положении к данному заместителю — транс-влияние. Транс-влияние сказывается в лабилизации адденда, находящегося в транс-положении к сильно влияющему заместителю ⁽¹⁾. Такая лабилизация, возможно, сопровождается изменением длин связей. Однако величина эффекта транс-влияния, повидимому, лежит в пределах точности рентгеноструктурного определения координат легких атомов. Поэтому наряду с совершенствованием методики рентгеноструктурного анализа следует искать и другие методы, позволяющие подойти к количественной характеристике транс-влияния. В настоящей работе сделана попытка использовать для этой цели рефрактометрический метод ⁽⁵⁾.

В табл. 1 приведены координатные рефракции двувалентной платины, определенные для $\lambda = \infty$.

Таблица 1

Координата	Рефракция
Cl—Pt—Cl	17,55
Cl—Pt—NH ₃	14,90
NH ₃ —Pt—NH ₃	11,46
NH ₃ —Pt—NO ₂	16,19
NO ₂ —Pt—NO ₂	19,76

Таблица 2

Координата	Рефракция
Cl—Pt—Cl	16,90
Cl—Pt—NH ₃	13,63
NH ₃ —Pt—NH ₃	9,83
NH ₃ —Pt—NO ₂	14,29
NO ₂ —Pt—NO ₂	19,16

Из данных таблицы видно, что $R_{X-Pt^{II}-A} > \frac{R_{X-Pt^{II}-X} + R_{A-Pt^{II}-A}}{2}$ (для Cl—NH₃: 14,90 > 14,50, $\Delta = 0,40$ см³; для NO₂—NH₃: 16,19 > 15,61, $\Delta = 0,58$ см³).

В табл. 2 приведены координатные рефракции четырехвалентной платины, определенные для $\lambda = \infty$.

Из данных табл. 2 видно, что $R_{Cl-Pt^{IV}-NH_3} > \frac{R_{Cl-Pt^{IV}-Cl} + R_{NH_3-Pt^{IV}-NH_3}}{2}$ (13,63 > 13,36, $\Delta = 0,27$ см³), тогда как

$$R_{NO_2-Pt^{IV}-NH_3} < \frac{R_{NO_2-Pt^{IV}-NO_2} + R_{NH_3-Pt^{IV}-NH_3}}{2}$$

(14,29 < 14,50, $\Delta = -0,21$ см³).

Поскольку рефракция есть мера подвижности электронов, постольку увеличение рефракции разноименной координаты по сравнению с полусуммой рефракций соответствующих одноименных координат свидетельствует об увеличении лабильности электронов адденда, находящегося в транс-положении к сильно влияющему заместителю. Согласно закономерности И. И. Черняева⁽²⁾, нитро-группа в соединениях дву-

Т а б л и ц а 3

Координата	Рефракция
$\text{NH}_3\text{—Co—NH}_3$	9,42
$\text{NH}_3\text{—Co—NO}_2$	13,91
$\text{NO}_2\text{—Co—NO}_2$	19,24

валентной платины влияет сильнее, чем хлор,— в изменениях координатных рефракций наблюдается параллелизм: рефракция координаты $\text{NO}_2\text{—Pt}^{\text{II}}\text{—NH}_3$ увеличилась больше по сравнению с полусуммой одноименных рефракций ($0,58 \text{ см}^3$), чем рефракция координаты $\text{Cl—Pt}^{\text{II}}\text{—NH}_3$ ($0,40 \text{ см}^3$). Рефракция координаты $\text{NO}_2\text{—Pt}^{\text{IV}}\text{—NH}_3$ уменьшилась по сравнению с аддитивной полусуммой координатных рефракций.

Исходя из параллелизма, отмеченного выше, можно предположить, что транс-влияние нитро-группы в соединениях четырехвалентной платины меньше, чем транс-влияние хлора, ибо

$$R_{\text{Cl—Pt}^{\text{IV}}\text{—NH}_3} > \frac{R_{\text{Cl—Pt}^{\text{IV}}\text{—Cl}} + R_{\text{NH}_3\text{—Pt}^{\text{IV}}\text{—NH}_3}}{2}.$$

Это находится в соответствии с химическим фактом «неподвижности» хлора против нитро-группы в соединениях четырехвалентной платины^(3, 4).

Следует отметить, что уменьшение рефракции координаты $\text{NO}_2\text{—Pt}^{\text{IV}}\text{—NH}_3$ по сравнению с полусуммой соответствующих одноименных координат не является исключением — у трехвалентного кобальта имеет место аналогичное положение, как видно из табл. 3.

Из всего сказанного выше следует, что величины координатных рефракций могут быть использованы для количественной характеристики транс-влияния.

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Черняев, Изв. АН СССР, ОХН, № 2, 197 (1953). ² И. И. Черняев, Изв. сектора платины, 4, I (1926). ³ И. И. Черняев, Г. С. Муравейская, там же, 23, 39 (1949). ⁴ И. И. Черняев, Г. С. Муравейская, там же, 25, 35 (1950). ⁵ Г. Б. Бокий, С. С. Бацанов, Вестн. МГУ, 2, 147 (1952).

Ю. А. ПРИСЕЛКОВ и Ан. Н. НЕСМЕЯНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОСТИ ПАРА КАЛЬЦИЯ И СТРОНЦИЯ НИЖЕ ТОЧКИ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МЕЧЕННЫХ АТОМОВ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 20 II 1954)

Щелочноземельные металлы в настоящее время приобретают все возрастающее значение в металлургии и технике. Кальций, например, применяется в металлургии железа, меди и свинца, барий и стронций используются в качестве геттеров при производстве электронных и ионных приборов, кроме того стронций является хорошим модификатором кремне-алюминиевых сплавов и т. п. При использовании металлов часто необходимо знать их термодинамические константы, которые могут быть рассчитаны из упругостей пара.

Экспериментальные данные по упругости пара твердого кальция (¹, ²) противоречивы и нуждаются в проверке, а для твердого стронция они совсем отсутствуют. Исходя из термодинамических характеристик кальция и стронция и экспериментальных результатов по определению упругости пара жидких металлов (³, ⁴), Келли (⁵) вычислил упругость пара кальция, а Брюер (⁶) — кальция и стронция ниже точек плавления, однако эти расчеты не могут быть приняты без проверки.

Мы определили упругость пара твердого кальция в интервале температур от 475 до 670° и стронция от 400 до 600°. Измерения проводились эффузионным методом (Кнудсена) в сочетании с методом меченых атомов. Установка для измерения упругости пара, сконструированная авторами работы, состояла из прибора для определения упругости пара, вакуумной установки, высокочастотного генератора для индукционного нагрева и приборов контроля и регулировки температуры и измерения вакуума.

Прибор для определения упругости пара. Прибор для определения упругости пара (см. рис. 1) представлял собой широкую трубку из молибденового стекла 1, верхняя часть которой была выполнена в виде фасонного сосуда Дьюара 2 и соединялась с нижней частью шлифом 3. Куполообразная часть этого сосуда 4 служила для собирания паров металла, мы ее назовем приемником. Внутри стеклянного прибора на подставке 5 укреплялась эффузионная камера 6 так, чтобы пары металла, выходящие из отверстия камеры, могли попасть только в прием-

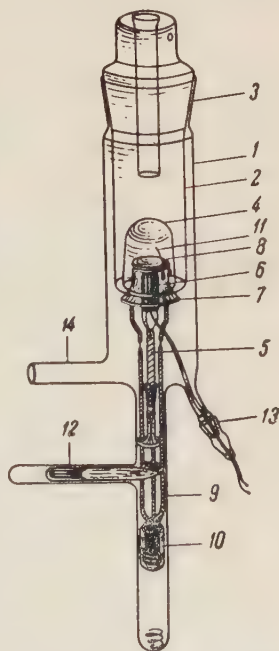


Рис. 1. Прибор для определения упругости пара

ник. Для предотвращения попадания паров металла в приемник в течение времени установления температуры опыта в эффузионной камере: охлаждения ее после опыта служил кварцевый колпачок 7 с откидывающейся пришлифованной к нему крышечкой 8. Колпачок укреплялся на подвижной стеклянной подставке 9, в конце которой был впаян железный якорь 10. Пружинка 11 служила для предотвращения опрокидывания

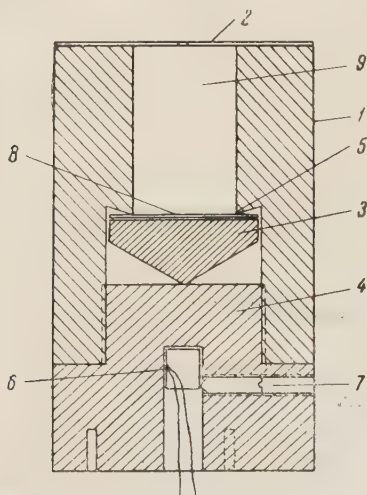


Рис. 2. Схема эффузионной камеры

крышки 8. Горизонтальный якорь 12 предназначен для закрепления кварцевого колпачка в верхнем положении. Черный шлиф 13 в прибор вводился термопара. Отростком 14 прибор присоединялся к вакуумной системе.

Эффузионная камера. Эффузионная камера (см. рис. 2) представляла собой молибденовый цилиндр 1, к верхней торцевой части которого приваривалась молибденовая фольга 2 с отверстием в центре диаметром 0,4 мм и высотой 0,02 мм. Снизу эффузионная камера закрывалась диском из железной фольги 3 и стальным вкладышем 4, который прижимал его к острым внутренним краям кольцевого выступа 5 при завинчивании молибденовой крышки 4. Герметизация камеры происходила при нагревании вследствие большего коэффициента расширения стали, чем молибдена. Термопара 6 для измерения температуры в эффузионной камере закреплялась в отверстии винтом 7.

Высокочастотный генератор. Высокочастотный генератор был собран по трехточечной схеме на двух лампах ГК-3000, включенных параллельно (см. рис. 3). Колебательная мощность генератора составляла 2 кв при частоте ~ 400 кГц. Энергия высокой частоты отводилась в нагревательный индуктор, который опоясывал прибор, для определения упругости пара непосредственно с витков контура генератора. Параметры нагревательного индуктора и габариты эффузионной камеры были выбраны такими, которые обеспечивали максимально равномерный нагрев камеры.

Нагрев эффузионной камеры регулировался грубо — положением контакта K — и плавно — изменением индуктивности L_2 , включенной последовательно в цепь нагревательного индуктора L_3 .

Измерение упругости пара. Для работы использовались металлический кальций и стронций, полученные алюмотермическим путем из химически чистых окислов, содержащих Ca^{45} и Sr^{89} . Очистка металлов проводилась вакуумной перегонкой ниже температур плавления. Металлический кальций (стронций), содержащий радиоактивный изотоп, помещался в рабочее пространство 9 эффузионной камеры, закрывался вкладышем, затем камера завинчивалась и помещалась в прибор для определения упругости пара. Все операции проводились в атмосфере

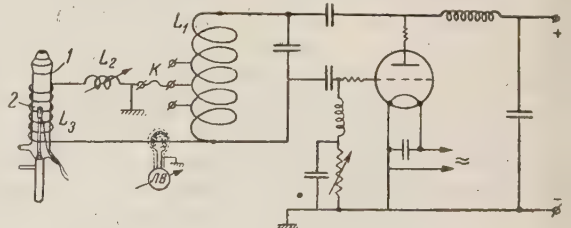


Рис. 3. Схема высокочастотного нагрева. 1 — прибор для определения упругости пара; 2 — эффузионная камера; ЛВ — ламповый вольтметр, служащий для измерения относительного значения тока высокой частоты; L_1 — катушка контура генератора; L_2 — регулируемая индуктивность; L_3 — нагревательный индуктор; K — контакт

аргона. Кварцевый колпачок ставился в верхнее положение, а в сосуд Дьюара наливался жидкий азот.

После достижения в приборе вакуума, равного $10^{-5} - 10^{-6}$ мм, включался индукционный нагрев. При установлении заданной температуры кварцевый колпачок опускался и эффундирующие за определенный промежуток времени пары собирались в приемнике. По окончании экспозиции колпачок поднимался и генератор выключался.

Температура измерялась платино-платинородиевой термопарой. Применение потенциометра ППТН-1 обеспечивало необходимую точность измерения. Колебания температуры не превышали $\pm 0,3^\circ$.

Сконденсировавшийся в приемнике металл смывался соляной кислотой, содержащей в качестве носителя, соответственно, соль кальция или стронция. Раствор нейтрализовался и производилось осаждение карбоната стронция или оксалата кальция. Активность полученных осадков измерялась на счетной установке и сравнивалась с активностью эталонов, приготовленных из известных весовых количеств исходного металла. В каждом опыте употреблялся эталон, близкий по активности к активности измеряемого препарата. Толщина образцов во всех опытах была одинаковой.

Расчеты упругости пара проводились по формуле:

$$p = 17,14 \frac{I g}{I_0 K A t} \sqrt{\frac{T}{M}},$$

где p — упругость пара в миллиметрах рт. ст.; A — площадь отверстия эффузионной камеры ($1,295 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$), K — коэффициент Клаузинга (0,95), T — абсолютная температура опыта, M — молекулярный вес пара, t — время в секундах, I — активность проэффундировавшего пара, I_0 — активность эталона весом g грамм.

Полученные результаты представлены в табл. 1 и на рис. 4.

Таблица 1

Упругости пара твердого металлического кальция и стронция

Т-ра в $^\circ\text{C}$	Упругость пара в мм рт. ст.		Т-ра в $^\circ\text{C}$	Упругость пара в мм рт. ст.	
	Ca	Sr		Ca	Sr
670	$5,76 \cdot 10^{-2}$	—	525	$1,34 \cdot 10^{-3}$	—
635	$2,58 \cdot 10^{-2}$	—	524	$1,29 \cdot 10^{-3}$	—
600	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$6,08 \cdot 10^{-2}$	500	$6,11 \cdot 10^{-4}$	$4,47 \cdot 10^{-3}$
575	$5,06 \cdot 10^{-3}$	$3,41 \cdot 10^{-2}$	475	$2,28 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-3}$
575	$5,74 \cdot 10^{-3}$	—	450	—	$1,07 \cdot 10^{-3}$
550	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-2}$	425	—	$4,48 \cdot 10^{-4}$
525	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$9,79 \cdot 10^{-3}$	400	—	$1,42 \cdot 10^{-4}$

Полученные в координатах $\frac{1}{T} - \lg p$ прямые соответствуют уравнениям

$$\lg p_{\text{Ca}} = 7,790 - \frac{8524}{T}, \quad \lg p_{\text{Sr}} = 7,435 - \frac{7548}{T}.$$

Приведенные выше результаты по измерению упругости пара твердого кальция расходятся с ранее опубликованными данными Рудберга (1) и Пиллинга (2). Рудбергом измерения проводились на эффузионной камере прочной конструкции и не вполне надежным методом определения малых количеств кальция, вследствие чего его результаты могут отличаться от истинных в несколько раз. В работе Пиллинга конструкция прибора и методика измерения не позволили получить правильные результаты. Поэтому авторы работы считают, что полученные ими результаты являются более надежными.

Авторы работы выражают благодарность В. А. Рябухину, Л. А. Смайлину, В. Кесареву и Н. Хандамировой за помощь в работе.

Поступило
18 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

- ¹ N. B. Pilling, *Phys. Rev.*, **18**, 362 (1921). ² E. Rudberg, *ibid.*, **46**, 76 (1934). ³ O. Ruff, H. Hartmann, *Zs. anorg. allgem. Chem.*, **133**, 29 (1924). ⁴ H. Hartmann, R. Schneider, *ibid.*, **180**, 275 (1929). ⁵ K. K. Kelley, *U. S. Bureau of Mines Bull.*, 383 (1935). ⁶ L. Brewer, *The Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials, Thermodynamics*, 1950, p. 13—39.

Член-корреспондент АН СССР Н. И. ШУЙКИН, Х. М. МИНАЧЕВ, Е. Д. ТУЛУПОВА
и Ю. П. ЕГОРОВ

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭТИЛЦИКЛОПЕНТАНА В ПРИСУТСТВИИ Ru- И Pd-КАТАЛИЗАТОРОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА В ПРОТОЧНОЙ СИСТЕМЕ

Поведение пятичленных цикланов в присутствии рутениевого катализатора не исследовано. Превращению углеводородов циклопентанового ряда в контакте с палладием посвящено всего лишь несколько работ. Так, Б. А. Казанский и сотр. ^(1, 2) показали, что циклопентан и этилциклопентан при проведении их над палладированным углем при 305—310° в потоке водорода оставались без изменения. В работе Е. И. Марголис ⁽³⁾ соавторами при проведении метил- и этилциклопентана в контакте с образцами палладированного асбеста (содержание Pd от 10 до 20%) при 305—310° под обыкновенным давлением было показано, что даже после четырехкратного контактирования гидрогенолиз этих углеводородов не имел места. В последующей работе того же автора с сотр. ⁽⁴⁾ при проведении пропил- и бутилциклопентана над тем же палладированным асбестом также было констатировано отсутствие гидрогенолиза пятичленного цикла. Однако во всех случаях в катализаторах было установлено присутствие ароматических углеводородов (от 7 до 21%). Образование ароматических углеводородов из гомологов циклопентана авторы объясняют изомеризацией пятичленного цикла в шестичленный с последующей его гидрогенизацией до соответствующего ароматического углеводорода. Отсутствие изомеризирующих свойств у палладированного угля, примененного Б. А. Казанским и сотр. ^(1, 2) и наличие их у палладированного асбеста в работах Е. И. Марголис ^(3, 4), вероятно, объясняется особенностями палладированного асбеста и различием методов приготовления взятых для исследования катализаторов. Марголис и соавторы не дают объяснения наблюдаемым фактам, которые к тому же не являются неожиданными и, по нашему мнению, принимая во внимание условия эксперимента, не имеют существенного практического значения.

Б. А. Казанский и Е. М. Терентьева ⁽⁵⁾ при обработке циклопентана в автоклаве при различных давлениях и температурах в присутствии палладированного угля каких-либо изменений углеводорода не наблюдали.

В наших предыдущих сообщениях ^(6, 7) уже были изложены результаты, полученные при изучении превращений углеводородов в контакте с металлическими катализаторами с малым содержанием металла на носителе в реакциях гидро- и дегидрогенизации. Настоящее сообщение является продолжением работ по изучению специфических свойств металлических катализаторов в зависимости от их химической природы и особенностей носителя и дальнейшим развитием исследований по изучению превращений углеводородов в условиях повышенных температур и давлений водорода в проточной системе.

В настоящей работе исследовалось поведение этилциклопентана в контакте с $\text{Pd} - \text{SiO}_2$, $\text{Pd} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ru} - \text{SiO}_2$ и $\text{Ru} - \text{Al}_2\text{O}_3$ -катализаторами. Содержание активного металла в катализаторах составляло всего лишь от 0,5 до 1,0%. Исходный этилциклопентан обладал следующими свойствами: т. кип. 103,2 (испр.), n_D^{20} 1,4192 и d_4^{20} 0,7661. Опыт

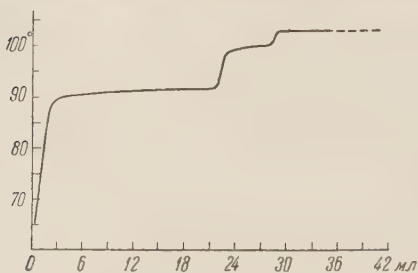


Рис. 1. Кривая разгонки нафтеновой части катализатора этилциклопентана, полученного на $\text{Ru} - \text{Al}_2\text{O}_3$ -катализаторе

проводились при 460°, 20 атм. давления водорода, с объемной скоростью проведения этилциклопентана 1,1 л катализатора в час при молярном отношении углеводорода к водороду 1:5 в установке проточного типа. Жидкие продукты катализа этилциклопентана анализировались с применением четкой ректификации, хроматографической адсорбции и с помощью спектров комбинационного рассеяния света. Газообразные продукты катализа анализировались в аппарате Орса — Лунге.

Свойства полученных катализаторов и другие опытные данные суммированы в табл. 1, 2 и 3, а результаты разгонки парафино-нафтеновой части катализатора (для одного катализатора) представлены на рис. 1.

Из данных табл. 1 следует, что Pd и Ru, в зависимости от химической природы носителя, ведут себя совершенно различно. На Pd и Ru, отложенных на Al_2O_3 , из этилциклопентана в принятых условиях образуются

Таблица 1
Свойства катализаторов этилциклопентана, полученных в опытах с различными катализаторами

Катализатор	n_D^{20}	d_4^{20}	Содерж. ароматич. углеводородов в объемн. %	Взято вещества в г	Получено катализатора в г	Состав газа в %		Газ и по-...
						H_2	$\text{C}_n \text{H}_{2n+2}$	
$\text{Pd} - \text{Al}_2\text{O}_3$	1,4486	0,8012	40	114,8	106,4	100	—	7
$\text{Ru} - \text{Al}_2\text{O}_3$	1,4531	0,8112	44	176,0	146,0	100	—	17
$\text{Pd} - \text{SiO}_2$	1,4280	0,7732	5,8	107	89	100	—	16
$\text{Ru} - \text{SiO}_2$	1,4180	0,7561	0	122	82,6	0	100	32

значительное количество ароматических углеводородов, тогда как в присутствии тех же металлов, отложенных на SiO_2 , образование ароматических углеводородов или совершенно не наблюдается или они составляют в катализате лишь небольшой процент.

Рутений, отложенный на SiO_2 оказался более агрессивным в отношении расщепления пятичленного цикла.

Фракционный состав и свойства ароматических углеводородов после выделения их хроматографической адсорбцией на силикагеле представлены в табл. 2. Фракционирование углеводородов проводилось на колонке эффективностью в 33 теоретических тарелки. Из данных табл. 2 видно, что основным ароматическим углеводородом в продуктах превращения этилциклопентана в принятых условиях является толуол.

Оптический анализ отдельных фракций, выделенных в результате разгонки парафино-нафтенных частей катализатора этилциклопентана. Установление строения углеводородов, входящих в состав парафино-нафтенных фракций, обычными химическими методами наталкивается на ряд трудностей, связанных с близостью физико-химических свойств изопар-

Таблица 2

Свойства ароматических углеводородов, выделенных из катализаторов этилциклопентана

Катализатор	Колич. вещества, взятого для разгонки, в г	№ фракции	Пределы выкип. в °C	Колич. в г	n_D^{20}	d_4^{20}	Выход в %		
							на катализатор	на исходн. этилциклопентан	на взятую для разгонки смесь
Pd—Al ₂ O ₃	28,5	1	до 109,5	0,4	1,4920	—	37,4	34,8	99,0
		2	109,5—110,2	22,2	1,4962	0,8664			
		3	110,2—112	5,6	1,4966	0,8667			
		Потери	—	0,3	—	—			
Pd—Al ₂ O ₃	36,5	1	до 108	0,6	1,4925	—	44,4	31,2	98,6
		2	108—110,5	29,7	1,4956	0,8657			
		3	110,5—113	5,8	1,4958	0,8660			
		Потери	—	0,4	—	—			
Pd—SiO ₂	4,6	1	106—113,5	4,3	1,4955	0,8650	4,8	4,5	93,5
		Потери	—	0,3	—	—	—	—	—

Таблица 3

Фракционный состав и свойства нафтено-парафиновой части углеводородов катализатора этилциклопентана

Катализатор	Колич. вещества, взятого для разгонки, в г	№ фракции	Пределы выкип. в °C	Колич. в г	n_D^{20}	d_4^{20}	Выход в %		
							на катализатор	на исходн. этилциклопентан	на взятую смесь углеводородов
Pd—Al ₂ O ₃	39,1	1	64—102,5	2,6	1,4178	0,7638	2,4	2,3	6,7
		2	102,5—103,0	30,0	1,4196	0,7660	28,3	26,0	77,0
		3	103—103,8	5,6	1,4202	0,7658	7,6	4,8	14,3
		Потери	—	0,9	—	—	1,2	0,7	2,0
Pd—Al ₂ O ₃	41,9	1	65,5—90	2,2	1,4010	0,7274	3,9	1,3	5,2
		2	90—93,5	21,5	1,4121	0,7504	38,0	12,2	51,2
		3	93,5—101,5	6,5	1,4218	0,7672	11,5	3,7	15,5
		4	101,5—103	4,7	1,4200	0,7658	8,3	2,7	11,2
		5	103—103,5	5,2	1,4202	0,7656	9,2	3,0	12,4
		Потери	—	0,8	—	—	1,4	0,4	1,9
Pd—SiO ₂	50,3	1	79,5—87,5	0,6	1,4090	—	1,1	0,6	1,2
		2	87,5—97,5	0,2	1,4160	—	0,4	0,2	0,2
		3	97,5—103	44,0	1,4208	0,7672	77,6	41,1	88,0
		4	103—103,8	3,9	1,4210	0,7670	6,9	3,6	7,8
		Потери	—	1,6	—	—	3,0	1,5	3,2
Pd—SiO ₂	82,6	1	96—100	7,7	1,3908	0,7063	9,3	6,0	9,3
		2	100—102,8	65,5	1,4199	0,7656	79	53,7	79,0
		3	102,8—103,5	7,0	1,4205	0,7665	8,4	5,7	8,4
		Потери	—	1,7	—	—	2,0	1,4	2,0

инов и нафтен (особенно пятичленных). Поэтому для определения индивидуальности и структуры полученных углеводородов мы применили метод комбинационного рассеяния света. Спектры комбинационного рассеяния снимались для ряда фракций. Полученные результаты сводятся к следующему:

1. Катализатор Pd—Al₂O₃. Исследованию были подвергнуты фракции № 2 (102,5—103°) и № 3 (103—103,8°). В этих фракциях обна-

ружен лишь один этилциклопентан, присутствие других углеводородов констатировать не удалось.

2. Катализатор $\text{Ru} - \text{Al}_2\text{O}_3$. Фракция № 2 (90—93,5°) состояла на 85—90% из транс-1,2-диметилциклопентана, а остальная часть этой фракции — из транс-1,3-диметилциклопентана. Фракция № 3 (93,5—101,5°) содержала 75% метилциклогексана и 25% цис-1,2-диметилциклопентана. Фракции №№ 4 и 5 состояли в основном из неизмененного этилциклопентана.

3. Катализатор $\text{Pd} - \text{SiO}_2$. Фракции №№ 1 и 2 из-за малых количеств исследованию не подвергались. Фракции №№ 3 и 4 состояли главным образом из этилциклопентана, однако основная фракция (№ 3) кроме этилциклопентана, содержала еще около 10% цис-1,2-диметилциклопентана.

4. Катализатор $\text{Ru} - \text{SiO}_2$. Фракция № 1 состояла из *n*-гептана. Фракции №№ 2 и 3 включали в себя неизмененный этилциклопентан.

Таким образом, на основании физико-химического исследования продуктов контактно-каталитических превращений этилциклопентана установлено, что этот углеводород претерпевает в основном следующие главные изменения: 1) изомеризацию с расширением пятичленного кольца в шестичленное; 2) дегидрогенизацию образующегося при этом метилциклогексана в толуол; 3) гидрогенолиз с образованием *n*-гептана; 4) изомеризацию в 1,2- и 1,3-диметилциклопентаны. В продуктах этой изомеризации содержатся как транс-, так и цис-формы диметилциклопентана со значительным преобладанием первой.

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
17 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. А. Казанский, Т. Ф. Буланова, ДАН, **62**, 83 (1948). ² Б. А. Казанский, Х. И. Арешидзе, Сообщ. Груз. АН СССР, **3**, 887 (1948). ³ Е. И. Марголис, Э. Коневская, М. В. Люкшина, Уч. зап. МГУ, в. 14, 247 (1951). ⁴ Е. И. Марголис, З. И. Rogozовская, М. В. Щекина, Вестн. Моск. гос. ун-ва, № 8, 125 (1953). ⁵ Б. А. Казанский, Е. М. Терентьев, ДАН, **72**, 511 (1950). ⁶ Н. И. Шуйкин, Х. М. Миначев, А. М. Рубинштейн, ДАН, **79**, 89 (1951). ⁷ Х. М. Миначев, Н. И. Шуйкин, И. Д. Рождественская, Изв. АН СССР, ОХН, № 2 (1954).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. С. АСЛАНОВА

**ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИОННО-АКТИВНОЙ СРЕДЫ
НА ПРОЧНОСТЬ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 18 II 1954)

По представлениям П. А. Ребиндера и его школы (¹⁻³), поверхностные дефекты являются наиболее опасными из-за физико-химического взаимодействия поверхности с окружающей средой, приводящей к снижению поверхностной энергии твердого тела.

Адсорбционное понижение прочности и облегчение деформации заключается в облегчении образования и развития микротрещин (микротрещин) в поверхностном слое при деформировании любого твердого тела под влиянием адсорбционного слоя поверхностно-активных веществ из окружающей среды. Адсорбирующиеся вещества проникают внутрь поверхностных микротрещин и развивают зародышевые трещины.

С уменьшением диаметра образцов уменьшается вероятность встречи опасных дефектов как на поверхности, так и в объеме твердого тела, чем и объясняется высокая прочность на разрыв тонких кварцевых и стеклянных волокон (^{4, 5}).

При исследовании влияния среды на прочность кварцевых и стеклянных волокон, вытянутых из стеклянных палочек, С. Н. Журков (⁶) установил, что прочность волокон, разорванных в вакууме, в 3—4 раза выше прочности волокон, разорванных в парах воды.

Современный метод производства стеклянного волокна из расплавленной стекломассы позволяет получать более однородные волокна, но, как показали исследования А. Ф. Зака (⁷), и этот процесс формования благоприятствует образованию поверхностных микротрещин.

Наши исследования были посвящены изучению влияния среды и адсорбирующихся веществ на прочность стеклянных волокон промышленного производства при кратковременном и длительном действии напряжений в этих средах. Эти вопросы имеют большое научное и практическое значение. Они недостаточно изучены и для стекла в массивном виде (⁸⁻¹⁰) и впервые поставлены нами при исследовании физико-химических явлений при деформации стеклянных волокон.

Объектом исследования служили стеклянные волокна диаметром 5,8 мк различного химического состава. Исследования проводились в воздухе различной степени влажности, в неполярном керосине, в воде и водных растворах поверхностно-активных веществ*. В качестве типичных поверхностно-активных веществ выбирались такие, которые адсорбируются на поверхности стеклянных волокон без каких-либо возможных химических взаимодействий (олеат калия, диоктилсульфосукцинат Na (аэрозоль ОТ), изоамиловый спирт и велан (катионактивное соединение, в котором четвертичный азот связан с амидной или сложноэфирной группой)). Прочность волокон в различных средах определялась на динамометрах весового типа (средняя квадратичная ошибка не превы-

* Автор с благодарностью отмечает участие в экспериментальной части С. З. Вольской, В. А. Ратобильской и Е. С. Лерман.

шала 4%). При массовых испытаниях волокон в различных средах при длительно действующих нагрузках они подвергались растяжению при помощи подвешенного груза. Особое внимание уделялось надежности закрепления волокон в специальных зажимах. Измерялось время от момента приложения нагрузки до разрыва образца в зависимости от величины растягивающего напряжения.

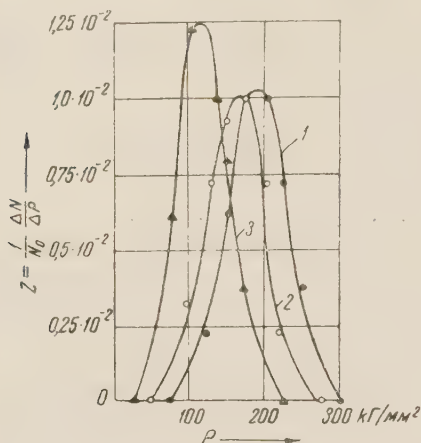


Рис. 1. Кривые распределения прочности на разрыв волокон из алюмоборосиликатного стекла в различных средах. 1 — неполярный керосин, 2 — вода, 3 — 0,5% раствор велана

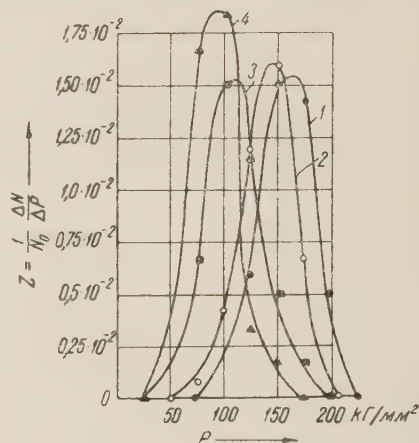


Рис. 2. Кривые распределения прочности на разрыв волокон из натриево-кальциевосиликатного стекла в различных средах. 1 — неполярный керосин, 2 — вода, 3 — 0,5% раствор аэрозоля ОТ, 4 — 0,5% раствор олеата калия

Особый интерес представляет адсорбционное понижение прочности волокон из алюмоборосиликатного стекла в воде и водных растворах поверхностно-активных веществ. Эти волокна и материалы на их основе обладают высокой химической устойчивостью к воде и не изменяют свою прочность после пребывания во влажной атмосфере в течение нескольких лет и последующего высушивания (11).

Аналогичные данные мы получили в некоторых средах при измерении прочности на разрыв волокон из бесщелочного фосфатного стекла, не содержащего кремнезема.

Было обнаружено, что смачивание неполярной углеводородной жидкостью аналогично действию относительно сухого воздуха. Вследствие гидрофильности стеклянных волокон наибольшее понижение их поверхностной энергии происходит при адсорбции воды.

Добавки к воде поверхностно-активных веществ от 0,5 до 0,9% способствуют адсорбционному понижению прочности волокон и ведут они себя избирательно, в зависимости от степени гидрофильности волокон.

На поверхности волокон из алюмоборосиликатного стекла хорошо адсорбируются из водных растворов изоамиловый спирт и велан, что и приводит к снижению прочности этих волокон по отношению к воде до 25%, а по отношению к неполярному керосину — до 40% (см. рис. 1).

У волокон из натриево-кальциевосиликатного стекла адсорбционное понижение прочности особенно ярко выражено в водных растворах олеата калия и велана (см. рис. 2).

Механизм адсорбционного действия поверхностно-активных веществ на стекле вызывается тем, что полярные группы этих веществ OH, COOH, NH₂ и др. адсорбируются на поверхности, ориентируясь углеводородными цепями наружу (12).

Понижение прочности стеклянных волокон в воде и водных растворах адсорбирующихся веществ представляет обратимый процесс, так как во-

локна при высыхании восстанавливают свою прочность. Это говорит о том, что при кратковременном погружении их в воду не возникает никаких необратимых явлений, которые могли бы происходить под влиянием только химических процессов, в частности растворения. Обратимая адсорбция поверхностно-активных веществ из водных растворов оказывает значительное действие на разрушение стеклянных волокон.

Важным являлось установление зависимости адсорбционного эффекта от диаметра волокон (табл. 1).

Как видно из приведенных в табл. 1 данных, эффект адсорбционного понижения прочности в воде возрастает с увеличением диаметра волокон.

Таким образом, при кратковременно приложенных напряжениях влажность воздуха не оказывает влияния на прочность волокон диаметром менее 3 μ , что имеет важное практическое значение для процесса формирования и текстильной переработки стеклянных волокон промышленного производства. Это показывает, что на поверхности таких тончайших волокон наличие дефектов сведено до минимума.

Важное значение имеет влияние внешней среды и наличие в ней растворенных адсорбирующихся веществ на процесс деформации стеклянных волокон при длительном действии напряжения. Наши экспериментальные данные показывают, что в этих условиях возникают «усталостные» явления в результате проникновения адсорбирующихся веществ вглубь волокон по слабым местам (развивающимся микротрещинам).

В сухом неполярном керосине стеклянные волокна могут без разрушения длительно выдерживать напряжения, близкие к пределу прочности. Во влажном воздухе и в воде волокна медленно разрушаются уже при нагрузках, равных 55—60% от их средней прочности в данной среде (см. рис. 3). Это указывает на то, что адсорбционное действие среды при медленных деформациях особенно активно.

Интересно отметить, что в первые минуты нагружения прочность на разрыв зависит от состава стеклянных волокон (см. рис. 4), но при длительном действии напряжений в воде разрушаемость волокна становится практически не зависящей от их химического состава. Особенно резкое снижение прочности во времени наблюдается при деформировании стеклянных волокон в водных растворах поверхностно-активных веществ (табл. 2), и в этом случае разрушаемость волокон не зависит от их состава.

Таблица 1

Зависимость адсорбционного эффекта от диаметра стеклянных волокон

Стекло	Диаметр волокна в μ	Прочность на разрыв кг/мм^2		Понижение прочности в % $\frac{P_0 - P_A}{P_0} \cdot 100$
		в неполярн. керосине P_0	в воде P_A	
Алюмоборосиликатное	2,4	347,8	345,1	0
	5,8	240,0	200,0	17,0
	19,5	109,5	84,1	23,3
	63,0	55,4	41,4	26,1
Натриево-кальциево-силикатное (20% Na_2O)	5,3	124,5	101,6	18,5
	27,9	85,3	61,4	28,1

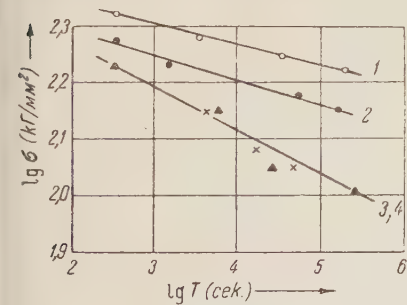


Рис. 3. Зависимость между разрывным временем и прилагаемым напряжением для волокон из алюмоборосиликатного стекла в различных средах. 1 — неполярный керосин, 2 — воздух (относительная влажность 30%), 3 — воздух (относительная влажность 85%), 4 — вода

Влияние адсорбционно-активной среды на прочность стеклянных волокон на разрыв и разрушение при длительном действии напряжений (диаметр волокна 5,8 μ , зажимная длина 30 мм)

Среда	Стекло			
	Алюмоборосиликатное		Натриево-кальциево-силикатное	
	Прочность на разрыв кг/мм^2	напряжение в кг/мм^2 , при котором более 60% волокон разрушаются в течение 1 часа	прочность на разрыв кг/мм^2	Напряжение в кг/мм^2 , при котором более 60% волокон разрушаются в течение 1 часа
Неполярный керосин . . .	191,4	153,1	174,6	132,5
Вода	163,4	121,2	140,5	102,3
0,9% раствор олеата калия	155,6	102,3	97,8	75,0
0,5% раствор аэрозоля ОТ	147,5	102,3	114,2	80,0
2,5% раствор изоамилового спирта	143,9	80,0	—	75,0
0,5% раствор велана . . .	120,4	80,0	110,5	62,5

При добавках к воде изоамилового спирта и велана усталостные явления в волокнах усиливаются, несмотря на то, что такие добавки являются химически инертными. В таких адсорбционно-активных средах разрушение волокон происходит при нагрузках составляющих 50% от их средней разрывной прочности в воде.

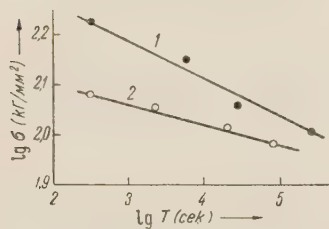


Рис. 4. Влияние состава стекла на разрушение волокон при длительном действии напряжений в воде. 1 — алюмоборосиликатное стекло, 2 — натриево-кальциево-силикатное стекло

Экспериментально установлено, что после снятия нагрузки происходит релаксация деформаций и восстановление прочности стеклянных волокон. Показано, что волокно может подвергаться многократному приложению растягивающей нагрузки при условии, если эти нагрузки периодически снимаются и деформация волокна происходит в неполярной углеводородной среде или в воздухе с низкой относительной влажностью. С увеличением диаметра волокон усталостные явления становятся особенно заметными уже при низких напряжениях. Среда также

оказывает влияние на прочность волокон диаметром менее 3 μ в условиях длительного действия напряжений.

Таким образом, явление усталости стеклянных волокон при статических нагрузках обуславливается адсорбцией воды из влажной атмосферы или поверхностно-активных веществ из водной среды на поверхности микрогрешин, развивающихся со времени при деформировании волокон.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт стеклянного волокна
Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
13 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Докл. на VI съезде физиков, 1928; ЖТФ, 1, 7—8 (1932).
- ² П. А. Ребиндер, Л. А. Шрейнер, К. Ф. Жигач, Понижители твердости и бурения, Изд. АН СССР, 1944.
- ³ П. А. Ребиндер, Юбилейн. сборн. АН СССР к XXX-летию Окт. революции, 1, 1947, стр. 533.
- ⁴ А. П. Александров, С. Н. Журков, Явление хрупкого разрыва, 1933.
- ⁵ С. Н. Журков, ЖТФ, 4, 9, 1640 (1934).
- ⁶ С. Н. Журков, ЖЭТФ, 1, 4 (1931).
- ⁷ А. Ф. Зак, ЖТФ, 22, 10, 1543 (1952).
- ⁸ F. Ogawa, Nature, 154, 341 (1944).
- ⁹ T. Baker, F. Preston, J. Appl. Phys., 17, 3, 162 (1946).
- ¹⁰ Г. М. Бартевев, ДАН, 71, № 1 (1950).
- ¹¹ М. С. Асланова, С. З. Эдельштейн, Сборн. тр. ВНИИ стекловолокна, № 2 (1952).
- ¹² П. А. Ребиндер и др., Исследования в области поверхностных явлений, 1936.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. С. БАГОЦКИЙ и И. Е. ЯБЛОКОВА

**К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ
ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
РТУТИ**

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 18 II 1954)

Каталитическое разложение перекиси водорода металлами неоднократно служило предметом исследований (см., например, ⁽¹⁾). Разложение перекиси водорода поверхностью платины изучалось, в частности, Л. В. Писаржевским и В. А. Ройтером ⁽²⁾, которые считают, что разложение обусловлено протеканием электрохимических процессов восстановления перекиси водорода на активных участках платины и окисления на неактивных участках.

Кинетика каталитического разложения перекиси водорода на поверхности металлов может быть количественно интерпретирована на основе представлений о сопряженных электрохимических реакциях. Эти представления получили в последнее время широкое распространение для объяснения ряда закономерностей саморастворения (коррозии) металлов. В отличие от выводов Л. В. Писаржевского и В. А. Ройтера, применение этих представлений к реакции разложения перекиси водорода не требует определенных предположений об активности разных участков поверхности, а опирается лишь на опытно установленные кинетические закономерности протекания реакций электрохимического окисления и восстановления перекиси на данном электроде. Поэтому эти представления применимы и для металлических катализаторов с однородной поверхностью, например, для жидкой ртути.

Нами в работе ⁽³⁾ были подробно изучены реакции электрохимического восстановления и окисления перекиси водорода на капельном ртутном электроде. На рис. 1 представлены пересчитанные для неподвижного ртутного электрода анодная и катодная поляризационные кривые, измеренные в буферном растворе со значением рН 12,9, содержащем 0,14 экв/л перекиси водорода. Было показано, что при протекании катодной реакции восстановления перекиси водорода поляризация электрода обусловлена замедленностью электрохимической стадии (присоединение первого электрона к молекуле перекиси водорода), в то время как в случае анодной реакции окисления перекиси в щелочных растворах поляризация ртутного электрода носит концентрационный характер.

При прохождении внешнего электрического тока через ртутный электрод, погруженный в раствор перекиси водорода, восстановление перекиси возможно только за счет тех электронов, которые выделяются при одновременном окислении перекиси, т. е. другими словами, эти две реакции должны протекать одновременно и с одинаковой скоростью. Кривые рис. 1 получены из прямых опытных данных, относящихся к процессам окисления или восстановления перекиси в отдельности. Если принять, что оба эти процесса являются независимыми друг от друга, т. е. что протекание одного процесса не влияет на кинетические закономерности

одновременно протекающего второго процесса, то точка пересечения катодной и анодной кривой на рис. 1 соответствует равенству скоростей электрохимического окисления и восстановления перекиси водорода. Стационарный потенциал ртутного электрода, погруженного в раствор перекиси водорода, должен соответствовать ординате точки пересечения. Общая скорость каталитического распада перекиси водорода как следствие сопряженного электрохимического окисления и восстановления должна, очевидно, равняться удвоенному значению абсциссы точки пересечения.

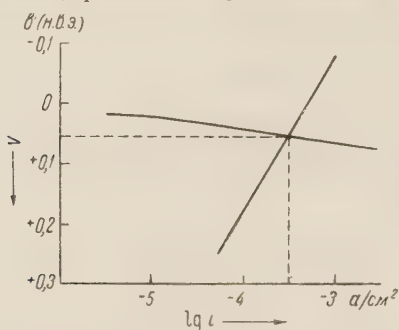


Рис. 1. Поляризационные кривые анодного окисления и катодного восстановления перекиси водорода на ртутном электроде

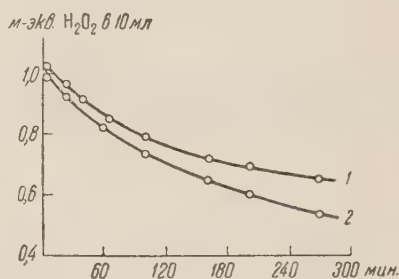


Рис. 2. Кривые разложения перекиси водорода в щелочном растворе без ртути (1) и в присутствии металлической ртути (2)

Изложенные теоретические представления сопоставлялись с опытными данными по скорости каталитического разложения перекиси водорода металлической ртутью в щелочных растворах. Скорость разложения перекиси определялась в закрытых стеклянных сосудиках, стенки которых, для уменьшения влияния стекла парафинировались. На дно сосудиков наливалась ртуть, поверхность которой равнялась $7,06 \text{ см}^2$. Объем исследуемых растворов равнялся 100 мл. В разных опытах концентрация перекиси колебалась от 0,09 до 0,3 экв/л, рН растворов от 12 до 13. Перед началом опытов растворы подвергались очистке путем катодной поляризации на ртутном электроде в течение 2—3 час. Скорость разложения перекиси определялась по изменению ее концентрации во времени. Для этой цели периодически брались небольшие пробы раствора, которые после подкисления титровались 0,1 *N* раствором перманганата калия. Разложение перекиси водорода в объеме раствора учитывалось путем проведения параллельных опытов в строго одинаковых условиях, но без ртути. Следует отметить, что в условиях наших опытов скорость каталитического и объемного разложения перекиси водорода были соизмеримы.

На рис. 2 приведены кривые разложения 0,1 *N* раствора перекиси водорода при значении рН 12,6 на ртути (2) и без ртути (1). В результате нескольких измерений было установлено, что средняя скорость каталитического разложения перекиси водорода при концентрациях, не превышающих 0,15 экв/л, колеблется в пределах от $1,2$ до $7,8 \cdot 10^{-4} \text{ а/см}^2$ (при пересчете на электрические единицы). Для больших концентраций перекиси водорода скорость ее разложения резко возрастает. Стационарный потенциал ртути в ходе приведенных измерений колебался около значений 0,040 в (н. в. э.).

Приведенные опытные данные в пределах точности измерений хорошо согласуются с данными, вычисленными на основании изложенного выше механизма каталитического разложения перекиси водорода. Действительно, из рис. 1, построенного на основании независимых электрохимических измерений, следует для стационарного потенциала ртутного электрода также значение 0,04 в, а для скорости самопроизвольного разложения перекиси — значение $6 \cdot 10^{-4} \text{ а/см}^2$.

Из приведенного сопоставления вытекает, что представления о сопряженных электрохимических реакциях восстановления и окисления перекиси водорода позволяют удовлетворительно объяснить кинетику каталитического разложения перекиси водорода в неконцентрированных растворах на поверхности металлической ртути.

В более концентрированных растворах опытно определенная скорость разложения перекиси водорода в десятки раз превышает вычисленную, что, возможно, связано с начинающимся в таких растворах разложением перекиси водорода по цепному механизму за счет перехода активных промежуточных продуктов с поверхности ртутного электрода в объем раствора.

Выражаем благодарность акад. А. Н. Фрумкину за ценные указания и дискуссию результатов.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
18 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Перекись водорода и перекисные соединения, под ред. проф. М. Е. Позина, 1951. ² Л. В. Писаржевский. Избр. тр., Изд. АН УССР, 1936, стр. 547. ³ И. Е. Яблокова, В. С. Багоцкий, ДАН, **85**, 599 (1952).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. И. ДОНЦОВА

**ОБМЕН ИЗОТОПАМИ КИСЛОРОДА МЕЖДУ ПРИРОДНЫМ SiO_2
И УГЛЕКИСЛОТОЙ**

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 3 III 1954)

В течение последнего времени был проведен ряд определений изотопного состава кислорода различных минералов осадочного и контактного происхождения (¹⁻⁴), показавший некоторую разницу в изотопном составе их кислорода и позволивший в связи с этим судить об их генезисе.

Однако для более полного представления о геохимической миграции изотопов кислорода и масштабе этих процессов на земле необходимо точное знание изотопного состава кислорода, входящего в первичные каменные породы — силикаты и алюмосиликаты, составляющие основу литосферы и подвижности их кислорода.

В настоящей работе делается попытка изучить при помощи метода изотопного обмена подвижность кислорода, входящего в состав силикатов.

Изучались кристаллический кварц и коллоид $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — диатомит (Груз.ССР, Ахалцыхский район, Киссатиби). Обменивающимся агентом служил углекислый газ, обогащенный O^{18} . Обмен проводился в статических условиях при разных температурах и различном времени соприкосновения реагирующих веществ. При проведении опытов с диатомитом соотношение CO_2 и SiO_2 было взято таким, чтобы отношение количеств кислорода в CO_2 и в SiO_2 было равно 1:10, 1:5 и 1:2. При проведении опытов с кварцем это отношение было выбрано 1:5. Перед опытами в течение 3 час. в вакууме производилось обезвоживание навески диатомита при 600°, а кварца — при 800°. Точность определения температуры ($\pm 10^\circ$) лимитировала точность всего эксперимента, которая равнялась, в среднем, 2%.

Изотопный анализ CO_2 производился в масс-спектрометре, построенном А. В. Трофимовым (⁵). Измерялось отношение величин пиков масс 46 и 45, которые отвечают массам молекул $\text{C}^{12}\text{O}^{16}\text{O}^{18}$, $\text{C}^{13}\text{O}_2^{16}$ и $\text{C}^{12}\text{O}^{16}\text{O}^{17}$. Средняя относительная точность определения отношения $\text{CO}_2^{46}:\text{CO}_2^{45}$ равна 0,4%. Стандартом для сравнения служила исходная обогащенная тяжелым изотопом кислорода углекислота. Процент обмена находился по серии номограмм, вычисленных для каждого отношения $\text{O}_{2\text{CO}_2}:\text{O}_{2\text{SiO}_2}$.

Полученные в настоящей работе экспериментальные данные представлены на рис. 1 и 2. Их рассмотрение позволяет сделать следующие заключения.

1. Обмен изотопами кислорода диатомита и кварца с CO_2 во времени протекает с затухающей интенсивностью. Ход этого процесса, как

следует из анализа полученных нами данных, удовлетворительно описывается уравнением

$$\alpha = p \lg \frac{\tau + a}{a},$$

которое, как известно (6), выражает закономерности, характеризующие самотормозящийся адсорбционный процесс. Здесь α — процент обмена, τ — продолжительность обмена, а p и a — характерные для выбранных условий опыта константы. В этом отношении результаты наших опы-

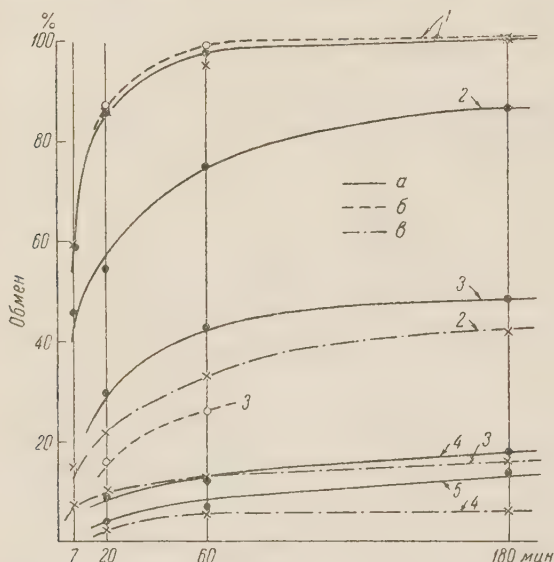


Рис. 1. Изотермы обмена изотопами кислорода между диатомитом и CO_2 с отношением $\text{O}_2\text{CO}_2 : \text{O}_2\text{SiO}_2$ равным 1:10 (а), 1:5 (б) и 1:2 (в). 1—700°, 2—600°, 3—500°, 4—400°, 5—300°

7—12 относятся к обмену в мелкодисперсном природном диатомите. Прямые 7, 8 и 9 отвечают отношению $\text{O}_2\text{CO}_2 : \text{O}_2\text{SiO}_2$, равному 1:2, остальные 1:10.

Рассмотрение графиков, представленных на рис. 3, позволяет сделать следующие выводы.

а) Между величинами $\lg \alpha$ и $1/T$ при обмене кислорода минерала с CO_2 в достаточно широкой области изменения температур наблюдается линейная зависимость.

б) Для каждого минерала в заданном температурном интервале и при данном отношении реагирующих веществ угловой коэффициент прямых $\lg \alpha = f(1/T)$ остается постоянным для всех изохрон вне зависимости от степени дисперсности минерала.

в) При рассмотрении всей области температур, в пределах которых происходит обмен кислорода минерала с CO_2 , четко выделяются две области**, характеризующиеся двумя отличными друг от друга значениями углового коэффициента прямых $\lg \alpha = f(1/T)$ — n_1 и n_2 . В каждом минерале $n_2 < n_1$.

* Эта величина пропорциональна константе равновесия обменной реакции.

** В случае опытов с диатомитом при отношении $\text{O}_2\text{CO}_2 : \text{O}_2\text{SiO}_2 = 1:2$ (прямые 7—9) не было получено экспериментальных данных, характеризующих обмен при температурах меньших чем 450°.

г) При обмене в диатомите при изменении отношения реагирующих веществ в больших пределах (1:2 — 1:10) наблюдается некоторое изменение наклона прямых $\lg \alpha = f(1/T)$, характерного для высоко-температурной области обмена минерала. При этом $n_{1:2} > n_{1:10}$.

д) Сопоставление угловых коэффициентов прямых $\lg \alpha = f(1/T)$ для кварца и диатомита, соответственно, для «высоко-температурной» и «низко-температурной» областей обмена позволяет в пределах точности эксперимента установить тождество этих величин. При сравнении величин $\lg \alpha$ для кварца и диатомита лучшее согласие величин коэффициентов наблюдается для случая обмена диатомита с CO_2 при отношении $\text{O}_2\text{CO}_2 : \text{O}_2\text{SiO}_2 = 1:2$.

Вышеизложенное делает вероятным допущение, что обмен изотопами кислорода минерала с кислородом азотобразного агента CO_2 не представляет собой единого процесса, а может рассматриваться как сложный процесс, протекающий по-разному в области низких и высоких температур. Можно, повидимому, говорить даже о двух слагающих его более простых процессах обмена, протекающих с разными энергиями и интенсивностью при низких (для каждого данного объекта) и относительно более

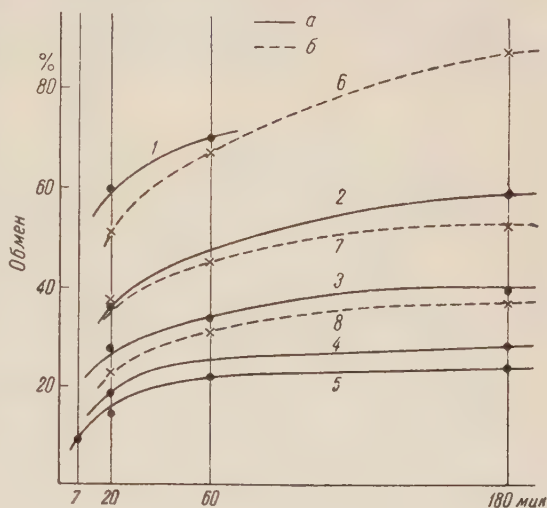


Рис. 2. Изотермы обмена изотопами кислорода между кварцем и CO_2 с отношением $\text{O}_2\text{CO}_2 : \text{O}_2\text{SiO}_2 = 1:5$. Дисперсность: а — 12 μ , б — 4 μ . 1—1380°, 2—1200°, 3—1100°, 4—900°, 5—800°, 6—1100°, 7—1000°, 8—800°

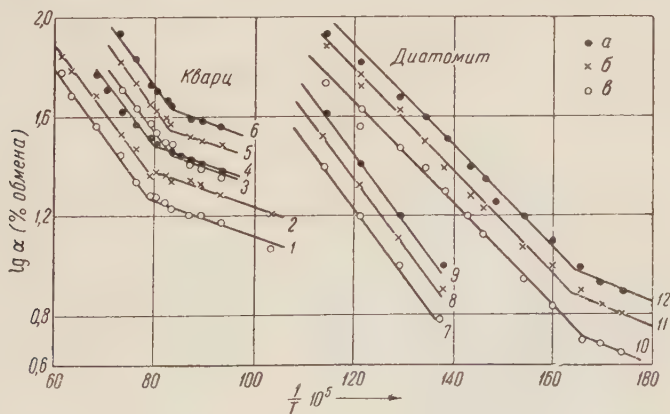


Рис. 3. Зависимость логарифма процента обмена кислорода диатомита от температуры. а — обмен за 180 мин., б — за 60 мин., в — за 20 мин.

высоких температурах. Известным обоснованием такой трактовки экспериментальных кривых рис. 3 может служить то обстоятельство, что логарифм величины константы равновесия реакции изотопного обмена (пропорциональной проценту обмена) в первом приближении

должен быть связан с величиной $1/T$ соотношением

$$\lg K = A - \frac{E}{kT},$$

где E — энергетическая характеристика процесса.

С этой точки зрения отмечавшийся выше факт, что $n_2 < n_1$, должен был бы означать, что процесс, определяющий в основном кислородный обмен в области низких (для данного минерала) температур, требует

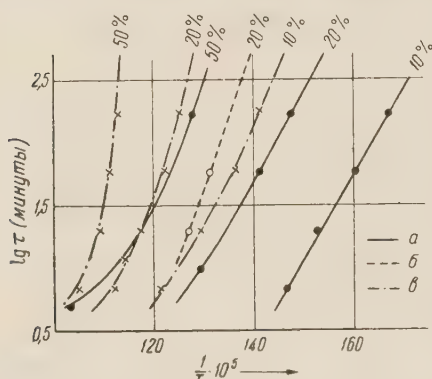


Рис. 4. Изостеры кислородного обмена в диатомите. a — обмен между диатомитом и CO_2 с отношением $\text{O}_2/\text{CO}_2 : \text{O}_2/\text{SiO}_2 = 1:10$; b — $1:5$; v — $1:2$

к гетерогенному обмену с газами в геологическом времени. Для этого можно использовать метод экстраполяции изостер обмена к области низких температур. Изостеры для изотопного обмена кислорода в наиболее легко обменивающемся из изученных минералов — диатомите представлены на рис. 4. Как видно, линейная зависимость $\lg(\tau)_\alpha = \text{const}$ от $1/T$ наблюдается лишь в области малых процентов обмена ($\alpha < 20\%$). При большем проценте обмена в области низких температур наблюдается отклонение от прямолинейной зависимости. Поэтому экстраполированные по прямому рис. 4 значения времени, повидимому, являются нижним пределом истинных значений, однако и они очень велики. Так, при отношении $\text{O}_2/\text{CO}_2 : \text{O}_2/\text{SiO}_2 = 1:10$ для достижения 10% обмена в диатомите при температуре 25° $\tau \cong 10^9$ лет; при отношении $1:1$ $\tau \cong 10^{13}$ лет. Таким образом, даже наименее устойчивый в отношении обмена минерал — диатомит может практически рассматриваться как достаточно устойчивый в геологическом времени. Это является доказательством возможности использования данных о соотношениях изотопов кислорода в минералах для решения геохимических задач, если конечно, эти минералы не подвергались вторичным изменениям.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР

Поступило
24 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. H. Hale, C. Hochanadel, J. Am. Chem. Soc., **62**, 3252 (1940).
- ² А. П. Виноградов, Е. И. Донцова, ДАН, **56**, № 4, 391 (1947).
- ³ Е. И. Донцова, ДАН, **63**, № 3, 305 (1948).
- ⁴ Е. И. Донцова, ДАН, **71**, № 5, 905 (1950).
- ⁵ А. В. Трофимов, ДАН, **66**, № 2, 181 (1949).
- ⁶ С. З. Рогинский, Адсорбция и катализ на неоднородных поверхностях, Изд. АН СССР, М.—Л., 1948.
- ⁷ С. М. Капачева, А. И. Розен, ДАН, **68**, № 6, 1057 (1949).

Л. С. ПАЛАТНИК

ОБОБЩЕННОЕ ПРАВИЛО «ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ» ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

(Представлено академиком И. И. Черняевым 22 II 1954)

Аналитический метод исследования гетерогенных систем (¹⁻³) не столь нагляден, как геометрический метод построения плоских и пространственных диаграмм (^{1,2,4}) или плоских сечений и проекций многомерных диаграмм состояний. Однако важным его преимуществом является общность и возможность более систематического рассмотрения всего многообразия типов физико-химического взаимодействия (особенно в многокомпонентных системах) и обнаружения таких деталей, которые могут ускользнуть при применении геометрического метода.

В настоящей статье рассматривается аналитический метод исследования так называемых конгруэнтных и инконгруэнтных процессов (^{2,4}) многокомпонентных невариантных системах при заданном химическом составе исчезающих и образующихся фаз. Любое превращение которой фазы L (например, жидкого расплава, химического соединения или твердого раствора и т. п.) может быть записано в виде акции следующего типа:

$$M_L L + \sum_{q=1}^{\beta} m_q B_q = \sum_{r=1}^{\alpha} m_r B_r, \quad (1)$$

е m_r — приращения масс образующихся фаз B_r ; M_L и m_q — убыль масс исчезающих фаз L и B_q ; $\kappa = \alpha + \beta = n^{**}$ — общее число образующихся и исчезающих фаз (исключая L). Если $\beta \neq 0$, то такое преобразование фазы L будем называть конгруэнтным, причем число β характеризует кратность ИП фазы L . Например, наивысшая кратность ИП фазы L $\beta_{\max} = \kappa - 1$; $\beta = 1, 2, 3, \dots$ соответствует однократно, дважды, трижды и т. д.; если $\beta = 0$, то превращение фазы L будем называть неконгруэнтным.

Формулу (1) можно переписать так, чтобы она была общей как для I (приращения масс $m_r > 0$, $m_q = 0$), так и для ИП (приращения

* В дальнейшем будем применять сокращения терминов: КР — конгруэнтное превращение, ИР — инконгруэнтное превращение, ИР — инконгруэнтный процесс и т. д.

* * В соответствии с правилом фаз ⁽¹⁾, при $p = \text{const}$: $y = n - k + 1$, где y — число степеней свободы, k — число фаз, $\sim p$ — давление. В инвариантной точке ($y = 0$): $\tilde{n} + 1$, а $x = n$.

$m_r > 0, m_q < 0$) фазы L :

$$M_L L = \sum_{j=1}^n m_j B_j,$$

где m_j — положительные или отрицательные приращения масс фаз L .

Таким образом, известное правило «центра тяжести» ^(4,5) можно было обобщено и представлено в следующем виде для КП и ИП:

$$m_1 : m_2 : \dots : m_n : M_L = \Delta_1 : \Delta_2 : \dots : \Delta_n : \Delta_L,$$

причем:

$$\sum_{j=1}^n m_j = m_1 + m_2 + \dots + m_n = M_L;$$

$$\sum_{j=1}^n \Delta_j = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = \Delta_L,$$

где Δ_L и Δ_j — определители, пропорциональные $(n-1)$ -мерным объемам симплексов (политопов) ⁽²⁾, вершины которых, соответственно изображают составы фаз L и j ($j=1, 2, 3, \dots, n$):

$$\Delta_L = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} x_{1L} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{2L} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{nL} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{1L} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{2L} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{2L} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix}, \dots$$

$$\dots, \Delta_n = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1L} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nL} \end{vmatrix};$$

x_{iL} и x_{ij} — концентрации компонентов A_i в фазах L и j . Номер i строки детерминанта соответствует номеру компонента A_i , номер j (или столбца детерминанта — номеру $j(L)$ фазы.

На основании равенств для каждой фазы j и L

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \sum_{i=1}^n x_{iL} = 1,$$

значения $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nn}$ и x_{nL} в любой, например, последней строке ($i=n$) каждого из детерминантов (6) можно заменить единицами как в случае неинвариантных ($x=n$), так и неинвариантных ($x < n$) систем (при составлении детерминантов (6) из всего числа концентраций x_{iL} ($i=1, 2, \dots, n$) выбираем концентрации любых $(x-1)$ компонент A_i ($i=1, 2, \dots, x-1$), исходя из условий совместности уравнений, связывающих изменения масс фаз L и j и концентрации компонент A_1, A_2, \dots, A_n).

При заданном составе фаз L и j на основании вычисления значений детерминантов (6) и сравнения знаков Δ_j с Δ_L можно определить характер и кратность инконгруэнтного процесса (конгруэнтному соответствует нулевая кратность). В случае отрицательного значения Δ_L достаточно произвести перестановку двух каких-либо строк

детерминанта Δ_L , что повлечет изменение на противоположные знаков величины Δ_L и всех остальных детерминантов Δ_j . Тогда знаки Δ_L и Δ_j будут полностью соответствовать знакам M_L и m_j , и мы получим условия:

а) конгруэнтности:

$$m_j > 0 \text{ или } \Delta_j > 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n); \quad (8)$$

б) инконгруэнтности:

$$m_q < 0 \text{ или } \Delta_q < 0 \quad (q = 1, 2, \dots, \beta), \quad (9)$$

где, в соответствии с принятой терминологией^(2,4), число β отрицательных значений m_q характеризует кратность инконгруэнтного процесса.

Таким образом, равенство (5) является «геометрическим» выражением закона (4) сохранения вещества как для КПр, так и для ИПр. При этом фигуративная точка, изображающая состав фазы L , лежит, соответственно, внутри или вне симплекса с вершинами $1, 2, \dots, n$, а кратность ИПр зависит от положения точки L относительно определенных элементов симплекса (от числа перпендикуляров, опущенных на $(n-2)$ -мерные грани симплекса, имеющих противоположное направление по сравнению с перпендикулярами из точки L , лежащей внутри симплекса). Так, точке L , отделенной от симплекса одной гранью, соответствует однократный ИПр, двумя гранями — дважды, тремя гранями — трижды ИПр, и т. д.

Заметим, что обобщенное правило «центра тяжести» сохраняет силу как при прямом, так и обратном процессах (при кристаллизации или плавлении и вообще при образовании или распаде фаз) и относится к системам с любым числом компонентов (n).

В бинарных системах, в которых фаза L распадается только на две фазы (1 и 2), правило «центра тяжести» вырождается в известное правило «рычага»^(4,5).

Рассмотрим пример применения обобщенного правила «центра тяжести» к аналитическому исследованию ИПр и КПр в многокомпонентных невариантных системах. При этом воспользуемся общностью аналитического метода, позволяющего установить всевозможные частные случаи на основе подробного анализа выражений, записанных, например, только для одного конгруэнтного процесса.

Пусть компоненты A_1, A_2, \dots, A_{n-1} и химическое соединение S n -компонентной систем в твердом состоянии не образуют между собой других химических соединений и твердых растворов, а L — жидкая фаза, состав которой отвечает невариантной точке (эвтектической или перитектической). Составы указанных фаз выразим в молярных концентрациях компонентов A_i ($i = 1, 2, \dots, n$): $B_1(1000\dots 0)$, $B_2(0100\dots 0)$, \dots , $B_{n-1}(000\dots 10)$, $S(x_{1n} x_{2n} \dots x_{nn})$, $L(x_1 x_2 \dots x_n)$. Вычисление по формуле (6) дает следующие значения детерминантов:

$$\Delta_L = x_{nn}, \quad \Delta_S = x_n, \quad \Delta_j = x_i x_{nn} - x_n x_{in} \quad (j = i = 1, 2, \dots, n-1), \quad (10)$$

откуда находим отношение приращений масс соответствующих фаз (например, в эвтектике или перитектике):

$$\begin{aligned} m_1 : m_2 : \dots : m_{n-1} : m_s : M_L = \\ = \left(x_1 - x_n \frac{x_{1n}}{x_{nn}} \right) : \left(x_2 - x_n \frac{x_{2n}}{x_{nn}} \right) : \dots : \left(x_{n-1} - x_n \frac{x_{n-1,n}}{x_{nn}} \right) : \frac{x_n}{x_{nn}} : 1. \end{aligned} \quad (11)$$

Из (11) находим условия конгруентности:

$$x_i - x_n \frac{x_{in}}{x_{nn}} > 0 \quad \text{или} \quad \frac{x_i}{x_n} > \frac{x_{in}}{x_{nn}} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

и β -кратной инконгруентности процесса ($\beta \leq n-1$):

$$x_g - x_n \frac{x_{gn}}{x_{nn}} < 0 \quad \text{или} \quad \frac{x_g}{x_n} < \frac{x_{gn}}{x_{nn}} \quad (\beta \text{ значений } g). \quad (1)$$

Например, в трехкомпонентной системе $A-B-C$, в которой образуется двойное соединение $S = A_a B_b$, возможны такие случаи:

а) $x_1/x_2 > a/b$ — этот случай соответствует образованию тройной эвтектики $A + S + C$ в системе $A-S-C$ (точка L лежит внутри треугольника ASC , ср. (4));

б) $x_1/x_2 < a/b$ — это случай диаграммы с тройной перитектической точкой L , когда соединение S имеет инконгруэнтную точку плавления (точки f и L и линия fL лежат вне треугольника ASC , где L — перитектическая точка в системе $A-B$; в системе $A-B-C$ возникают однократно инконгруэнтные процессы, ср. (4));

в) $x_1/x_2 = a/b$, что отвечает промежуточному случаю между а и б (перитектическая точка L лежит на соединительной линии CS).

Можно показать, что в случае ненонвариантных систем ($y > 0$, $x < n$) соотношение (1) приводит к тому, что каждая стадия кристаллизации (первичная, вторичная, третичная и т. д.) будет эвтектической или перитектической в зависимости от положения точки $L(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ относительно $(x-1)$ -мерного симплекса, вершины которого определяются координатами: $L'(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ и $1(x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1})$, $2(x_{12}, x_{22}, \dots, x_{n2})$, ..., $x-1(x_{1, x-1}, x_{2, x-1}, \dots, x_{n, x-1})$, где $1, 2, \dots, (x-1)$ — сосуществующие твердые фазы, приращения масс которых m_f и m_g имеют положительные или отрицательные значения; L и L' — жидкие фазы, составы которых соответствуют начальному и конечному составу жидкости в данной стадии кристаллизации (первичной, вторичной или третичной и т. д.). При этом точка L' лежит на эвтектической, перитектической y -мерной поверхности пересечения $(n-1)$ -мерных поверхностей ликвидуса (число последних равно $n-y$). Для систем ненонвариантных, моновариантных и т. д. указанные y -мерные поверхности вырождаются в точку, линию и т. д.

Таким же образом рассматриваемый метод позволяет анализировать и другие возможные типы КП и ИП в более сложных, многокомпонентных системах (при заданном составе образующихся и исчезающих фаз).

Харьковский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
29 VIII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Гиббс, Термодинамические работы, 1950. ² Н. С. Курнаков, Введение в физико-химический анализ, 1936. ³ А. Сторонкин, Об условиях термодинамического равновесия многокомпонентных систем, 1948. ⁴ В. Я. Аносов, С. А. Погонин, Основные начала физико-химического анализа, 1947. ⁵ А. Б. Млодзеевский, Теория фаз, 1937.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С. С. ПОЛЯК и В. Я. ШТЕРН

К ВОПРОСУ О РАДИКАЛЬНО-ЦЕПНОЙ СХЕМЕ ОКИСЛЕНИЯ
ПРОПИЛЕНА

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 10 II 1954)

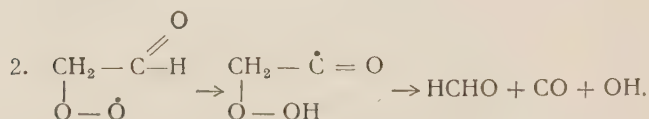
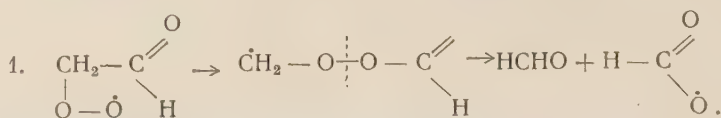
Как было показано ранее на примере окисления пропилена (¹, ²) и пропана (³), сведение баланса по продуктам на всем протяжении этих процессов накладывает количественные ограничения на предлагаемые радикально-цепные схемы и дает возможность вычислить по ним количества конечных продуктов. Количественный характер такой схемы позволяет определить также и то, какие атомы углерода исходной молекулы углеводорода и в каком соотношении участвуют в образовании тех или иных продуктов реакции. Так как, однако, обычными аналитическими методами, которыми мы пользовались для определения состава реагирующей углеводородно-кислородной смеси, невозможно установить, из каких частей исходной молекулы углеводорода образованы анализируемые продукты, то наложить соответствующее количественное ограничение на составляемую схему мы не могли.

Уже после опубликования нами схемы окисления пропилена появилась работа А. Ф. Луковникова и М. Б. Неймана (⁴), исследовавших верхнетемпературное окисление этого углеводорода при помощи радиоуглерода (окислению был подвергнут 2-С¹⁴-пропен). Использование метода меченых атомов позволило им установить, что: 1) 96% формальдегида образуется из крайних атомов и лишь 4% из среднего углеродного атома молекулы пропилена; 2) 30% СО и 40% СО₂ образуются из среднего атома углерода молекулы пропилена. Таким образом, помимо тех количественных ограничений, которые были сформулированы нами в результате изучения окисления пропилена и которым удовлетворяла предложенная радикально-цепная схема, появились еще два новых, указанных выше.

Согласно нашей схеме, образующийся из пропилена аллильный радикал С₃Н₅ присоединяет О₂, превращаясь в перекисный радикал С₃Н₅ОО. Этот последний распадается по двум путям: на первом пути образуются НСНО и радикал СН₂СНО (*k*₂), на втором СО, Н₂О и радикал СН=СН₂. В схеме далее предполагалось, что все количество СН₂СНО целиком превращается в СН₃СНО (взаимодействием с С₃Н₆), а радикалы СН=СН₂ частично превращаются в С₂Н₄ (взаимодействием с С₃Н₆), а частично подвергаются окислению, давая из одного СН=СН₂ две молекулы НСНО (*k*₅ и *k*₆). Образующиеся альдегиды частично подвергаются дальнейшему окислению.

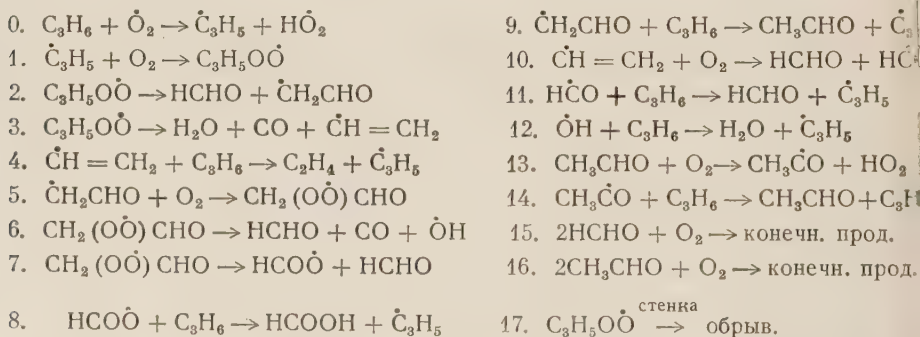
Сопоставление наших результатов анализа продуктов окисления с этой схемой приводит к следующему соотношению скоростей элементарных реакций, в которых образуется формальдегид: $\omega_5 = \omega_6 = 0,5 \omega_2$. Отсюда следует, что, согласно схеме, из среднего углеродного атома пропилена образуется 25% НСНО, а не 4%, как этого требует работа (⁴).

Относительно небольшое изменение схемы, однако, приводит к удовлетворению и этого нового ограничения. Для этого достаточно ввести схему, помимо имеющегося взаимодействия CH_2CHO с C_3H_6 (с образованием CH_3CHO), еще и его окисление с последующей изомеризацией распадом, которые могут происходить по двум путям:



В первом случае изомеризация заключается в атаке свободной валентностью атома кислорода $\text{C} - \text{C}$ -связи. Распад такого изомеризованного радикала дает НСНО и радикал муравьиной кислоты превращающийся далее в НСООН . Изомеризация сопровождается выделением ~ 20 ккал/моль, а распад — выделением ~ 25 ккал/моль. В втором случае изомеризация заключается в атаке свободной валентностью атома кислорода $\text{C} - \text{H}$ -связи*. Распад изомеризованного радикала приводит к образованию НСНО , СО и ОН . Последний превращается в H_2O , так что установленное нами равенство количества $(\text{CO} + \text{CO}_2)$ и H_2O остается ненарушенным. Второй путь также энергетически возможен, так как изомеризация связана с выделением ~ 25 ккал/моль а распад ~ 5 ккал/моль.

Измененная таким образом схема окисления C_3H_6 приобретает следующий вид:



В этой схеме удельный вес реакций 10 и 11 (в старой схеме обозначались как реакции 5 и 6) теперь уже невелик. Действительно окисление радикала $\text{CH} = \text{CH}_2$ приводит к образованию одного НСНО из среднего атома углерода молекулы C_3H_6 , а согласно работе (4) таким путем получается только 4% общего количества НСНО .

Проведем проверку этой схемы сравнением между рассчитанными и экспериментальными количественными соотношениями конечных продуктов. Пользуясь данными, полученными нами при изучении окисления пропилена (6), и, в первую очередь, тем, что, как было найдено, на начальных стадиях реакции **: а) отношение истинно образовавшихся (т. е. без учета

* Такой тип изомеризации был предложен Н. Н. Семеновым (5).

** Когда обнаруживаются только следы СО и СО_2 и когда можно считать, что практически все образующееся количество альдегидов охватывается анализом. Такая начальная точка окисления C_3H_6 явился для верхнетемпературной реакции момент времени через 165 сек. после вброса смеси в реакционный сосуд.

дальнейшего окисления) НСНО к $\text{CH}_3\text{СНО}$ близко к 2 и б) отношение количества C_2H_4 к истинно образовавшемуся НСНО близко к $1/5$.

Примем скорость 1-й реакции за 1, тогда скорость 2-й будет α , 3-й $1 - \alpha$, 5-й $\alpha\beta$ и 9-й $\alpha(1 - \beta)$, где $\alpha < 1$ и $\beta < 1$. Тогда для количества образующихся продуктов получаем:

$$\text{CH}_3\text{СНО} = \alpha - \alpha\beta = \alpha(1 - \beta); \quad (1)$$

$$\text{НСНО} = \alpha + \alpha\beta = \alpha(1 + \beta) \frac{100}{92} *; \quad (2)$$

$$\text{C}_2\text{H}_4 = (1 - \alpha) - \frac{4}{100} \frac{\alpha(1 + \beta) \cdot 100}{92}. \quad (3)$$

Для начальной стадии реакции

$$\frac{\text{НСНО}}{\text{CH}_3\text{СНО}} = \frac{\alpha(1 + \beta) \frac{100}{92}}{\alpha(1 - \beta)} = 2,$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{НСНО}} = \frac{\left[(1 - \alpha) - \frac{4}{92} \alpha(1 + \beta) \right] 92}{\alpha(1 + \beta) 100} = \frac{1}{5},$$

откуда $\alpha = 0,75$ и $\beta = 0,296$.

Так как α определяет соотношение двух мономолекулярных реакций одного и того же радикала $\text{C}_3\text{H}_5\text{ОО}$ (реакции 2 и 3), то оно остается неизменным на протяжении всей реакции.

Их схемы получаем, что

$$\beta = \frac{k_5(\text{CH}_2\text{СНО})(\text{O}_2)}{k_5(\text{CH}_2\text{СНО})(\text{O}_2) + k_9(\text{CH}_2\text{СНО})(\text{C}_3\text{H}_6)} = \frac{1}{1 + \frac{k_9}{k_5} \frac{(\text{C}_3\text{H}_6)}{(\text{O}_2)}}. \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (4) значения β , (C_3H_6) и (O_2) для момента реакции, равного 165 сек. для верхнетемпературного окисления, находим отношение k_9/k_5 . Из аналитических данных $(\text{C}_3\text{H}_6)/(\text{O}_2)$ по ходу процесса и отношения k_9/k_5 определяем β для любого момента реакции.

Зная α и β и количество израсходованного C_3H_6 , можно, пользуясь выражениями (1) и (2), определить истинно образующиеся по ходу реакции количества НСНО и $\text{CH}_3\text{СНО}$. Вычитая из них аналитически определенные количества альдегидов, находим количества альдегидов, подвергшихся окислению, т. е. количество образовавшегося при этом $\text{СО} + \text{СО}_2$ (при окислении каждая молекула НСНО дает одну молекулу СО или СО_2 , а $\text{CH}_3\text{СНО}$ — две молекулы СО или СО_2). Кроме того, СО , получающееся по реакции 6, определяется как разность между НСНО, полученным распадом радикала $\text{CH}_2(\text{ОО})\text{СНО}$ (и равного $\alpha\beta$), и аналитически определенным количеством НСНООН.

В табл. 1 приведено сравнение рассчитанных таким путем количеств СО с количеством его, определенным экспериментально. Как мы видим, совпадение получилось вполне удовлетворительным.

Из схемы можно также определить количество СО , образующееся из среднего атома С пропилена. Оно равно сумме количеств окисленного

* Множитель $100/92$ отражает то обстоятельство, что по реакциям 2 и 5 образуется 92% НСНО.

Таблица 1

Сравнение количеств $\text{CO} + \text{CO}_2$, рассчитанных по схеме, с аналитически найденными по ходу верхнетемпературного окисления смеси $\text{C}_3\text{H}_6 + \text{O}_2$. $T = 370^\circ$; $P_{\text{нач}} = 220$ мм; $\alpha = 0,75$ (количества веществ в мм. рт. ст.)

Момент реакции, сек.	β	$\beta_{\text{ср}}$	$\frac{\text{C}_3\text{H}_6}{\text{O}_2}$	C_3H_6 из расх.	Аналитически найденные				Истинно образующиеся		$\text{CO} + \text{CO}_2$		Колич. CO из 2-го атома углерода произведена в %
					CH_3CHO	HCNO	C_3H_4	кислота	CH_3CHO	HCNO	рассчитан. по схеме	аналитически найден.	
165	0,296		1,02	3,5	2,3	4,03	0,7						
190	0,267	0,2815	1,18	19	7,1	12	3	3	10,24	19,8	19,8	17,2	26
191,5	0,264	0,28	1,2	20,5	7,1	14,8	3,5	2,5	11,1	21,4	20,8	19	32
195	0,229	0,262	1,45	32,7	12,3	25,6	4,8	4,5	18,1	33,7	27,7	28,7	28
197,5	0,213	0,254	1,59	35	12,5	27,2	6	5	19,6	35,8	31,8	33	27
202	0,1725	0,234	2,06	40	12,3	28	8	4,4	23	40,4	46	41	34
207,5	0,1105	0,204	3,46	45	13	28,5	10	6	26,9	44,2	56,2	53,4	29
215	0,086	0,192	4,57	51	13,5	28,8	10,7	6,25	30,9	49,6	69,4	63	30

CH_3CHO (в каждом CH_3CHO углерод карбонильной группы есть средний атом углерода молекулы C_3H_6), 4% от окисленного HCNO (в каждом радикале $\text{CH}=\text{CH}_2$ углеродный атом группы CH есть средний атом углерода в молекуле C_3H_6) и разности между количеством окисленного радикала CH_2CHO и аналитически определенным количеством кислоты (в радикале CH_2CHO углерод карбонильной группы есть средний атом углерода молекулы C_3H_6). В последней графе табл. 1 приведено это рассчитанное количество CO , оказавшееся равным 28—30%, что близко к значению 30%, полученному экспериментально М. Б. Нейманом и А. Ф. Луковниковым (4).

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Я. Штерн, С. С. Поляк, ДАН, 85, 161 (1952). ² С. С. Поляк, В. Я. Штерн, ЖФХ, 27, 950 (1953). ³ Н. Я. Черняк, В. Я. Штерн, ДАН, 78, 91 (1951). ⁴ А. Ф. Луковников, М. Б. Нейман, ДАН, 91, 581 (1953). ⁵ Н. Н. Семенов, Усп. хим., 20, 673 (1951). ⁶ С. С. Поляк, В. Я. Штерн, ЖФХ, 27, 341 (1953).

А. Н. СИДОРОВ

**ИНФРАКРАСНЫЕ СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, АДсорБИРОВАННЫХ
НА МИКРОПОРИСТОМ СТЕКЛЕ**

(Представлено академиком А. Н. Терениным 22 II 1954)

В работах нашей лаборатории по исследованию инфракрасных спектров адсорбированных молекул ⁽²⁾ в качестве адсорбента широко использовалось разработанное И. В. Гребенщиковым и О. С. Молчановой микропористое стекло (м. п. стекло) ⁽¹⁾, применявшееся в виде пластинок толщиной в несколько миллиметров. Из-за поглощения длинноволновой инфракрасной радиации стеклом наблюдения ограничивались только близкой инфракрасной областью спектра $\lambda\lambda$ 1—2 μ (5000—10000 см^{-1}), где находятся лишь обертоны и составные частоты колебаний поверхностных групп ОН стекла и некоторых валентных связей адсорбированных молекул. Малая чувствительность методики заставляла прибегать к большому заполнению адсорбирующей поверхности, доходившему до капиллярной конденсации паров. Последнее обстоятельство отчасти объясняет малое отличие наблюдавшихся спектров адсорбированных молекул от их спектров в жидком или растворенном состояниях ⁽³⁾. Одной из задач дальнейшего исследования было распространение измерений в более далекую инфракрасную область, где расположены интенсивные полосы основных частот колебаний молекул.

Применявшиеся в настоящей работе пластинки м. п. стекла (со средним диаметром пор 30—40 Å) толщиной от 0,1 до 0,7 мм пропускали излучение в области $\lambda\lambda < 6,4 \mu$, т. е. в области частот, больших 1550 см^{-1} *. Предварительная очистка поверхности м. п. стекла производилась прокаливанием на воздухе до 450—480° в течение 3—4 час. После вакуумной тренировки (в течение 3—4 час. под нагревом до 400—450°), производившейся для удаления адсорбированной воды (что контролировалось спектрально), адсорбент приводился на некоторое время в соприкосновение с парами исследуемого вещества определенной упругости, регулируемой температурой последнего. Затем для удаления с адсорбента возможной капиллярно-конденсированной фазы или полимолекулярной пленки, а также слабо связанных когезионными силами молекул, производилась откачка кюветы с образцом (находящимся при температуре 20°) с вымораживанием паров жидким воздухом. Сохранение на поверхности адсорбированных молекул проверялось во время этого процесса спектральным путем. Термическая обработка образцов м. п. стекла в вакууме и все дальнейшие операции по адсорбции паров, а также съемка спектров производились в специальной стеклянной кювете с окошками из флуорита или LiF, присоединенной к вакуумной системе. Для получения спектров был использован инфракрасный спектрометр ИСП-14а с призмой NaCl, сконструированный под руководством А. Н. Теренина ⁽⁴⁾, в сочетании с

* Такие пластинки м. п. стекла были предоставлены нам О. С. Молчановой, за что автор выражает ей глубокую признательность.

вакуумной термпарой и фотоэлектрооптическим усилителем конструкции Б. П. Козырева (5). Средняя погрешность измерений при определении частот максимумов поглощения составляет 5 см^{-1} в области $2500\text{—}4000\text{ см}^{-1}$ и 3 см^{-1} в области $1500\text{—}1900\text{ см}^{-1}$.

Таблица 1

Соединение	Интерпретация максимумов поглощения	Частоты максимумов в см^{-1}				$\Delta\nu/\nu$, %
		газ	раствор ¹	жидкость	адсорбат	
C_6H_6	$\text{C—H}_{\text{ар.}}$	3060		3060	—	—
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	$\text{C—H}_{\text{ар.}}$		3025	3025	3025	0
	$\text{C—H}_{\text{ал.}}$		2925	2925	2925	0
$\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$	$\text{C—H}_{\text{ар.}}$			3030	3030	0
	$\text{C—H}_{\text{ал.}}$			2955	2955	0
	$\text{C—H}_{\text{ал.}}$			2882	2882	0
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	$\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{C=O} \end{matrix}$	1746		$\begin{matrix} 3020 \\ 1731 \end{matrix}$	$\begin{matrix} ?^* \\ 1719 \end{matrix}$	$\begin{matrix} ? \\ -1,5\text{ (г)} \end{matrix}$
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$	$\text{C—H}_{\text{ар.}}$		3098	3108	3135	+1,2 (р)
	$\text{C—H}_{\text{ар.}}$		3070	3073	3098	+0,9 (р)
	$\text{C—H}_{\text{ал.}}$		2833	2841	2867	+1,1 (р)
	$\text{C—H}_{\text{ал.}}$		2757	2763	2787	+1,1 (р)
	C=O		1690	1685	1679	-0,7 (р)
CH_3CHO	$\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{>C—H} \\ \text{>C—H} \end{matrix}$	3030	$\begin{matrix} 3030 \\ 2867 \\ 2757 \end{matrix}$		$\begin{matrix} 3030 \\ 2900 \\ 2780 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ +1,2\text{ (р)} \\ +0,8\text{ (р)} \end{matrix}$
CHCl_3	C—H		3070	3070	3030	-1,3 (р)
CH_3OH	O—H	3720	3670	3346	$\begin{matrix} ?^* \\ 2960 \end{matrix}$	$\begin{matrix} ? \\ +0,7\text{ (р)} \end{matrix}$
	CH_3	2938 [*]	2938	2938	2960	+0,7 (р)
	CH_3	2860 [*]	2833	2833	2853	+0,7 (р)
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ Пиридин ⁴	C—H		3075	3075		
	C—H		3030	3030		
				1580	1600	+1,3 (ж)
				1482	1494	+0,8 (ж)
NH_3		5160		1436	1444	+0,6 (ж)
		4410			5080	-1,6 (г)
		3460			$\begin{matrix} ?^* \\ 3427 \end{matrix}$	$\begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix}$
		3345			3400 [*]	

¹ Применялись растворы с концентрацией 0,2—0,3 % по объему. Толщина слоя раствора 10 мм, что соответствует толщине растворенного вещества 0,02—0,03 мм.

² Полоса поглощения группы CH_3 маскируется сильным поглощением групп OH поверхности м. п. стекла, возмущенных водородной связью с адсорбированными молекулами ацетона.

³ Накладывается на полосу групп OH поверхности м. п. стекла

⁴ В области $1700\text{—}1200\text{ см}^{-1}$ опыт по адсорбции пиридина был произведен на порошкообразном бентоните.

⁵ Перекрывается собственной полосой 4510 м. п. стекла.

* Полосы не разрешены нашим прибором.

адсорбированном состоянии по отношению к газу (г), раствору (р) или жидкости (ж). Знак — перед величиной $\Delta\nu/\nu$ означает уменьшение частоты в результате адсорбции, знак + соответственно — увеличение.

Дополнительным чувствительным критерием наличия взаимодействия молекул с адсорбентом служат изменения характерного максимума поглощения 3740 см^{-1} , принадлежащего основной частоте валентных колебаний в группах OH , имеющих на поверхности м. п. стекла.

Как было показано в предыдущих работах нашей лаборатории (2), первый обертон этой частоты лежит у 7326 см^{-1} . При адсорбции многих из исследованных паров: H_2O , O_2 и N_2 (при -180°), ряда орга-

В качестве критерия взаимодействия с адсорбентом может служить относительная величина смещения частоты колебания адсорбированных молекул по сравнению с частотой колебания тех же молекул в газообразном состоянии или в достаточно инертном растворителе. В качестве последнего обычно применяется CCl_4 , прозрачный в инфракрасной области, хотя имеются сомнения в его инертности (6). Для обеспечения тождественности условий спектры исследуемых соединений в газообразном или растворенном состоянии измерялись на нашем спектрометре при тех же ширинах щели, при которых они измерялись в адсорбированном состоянии. В табл. 1 для каждого из изученных соединений приведены частоты характерных максимумов поглощения определенных связей в четырех исследованных состояниях: газ, раствор, жидкость, адсорбат. В последнем столбце таблицы приведена величина $\Delta\nu/\nu$ относительного смещения частот

нических соединений, поглощение в этом оберitone резко снижалось. Нами установлено, что после тренировки образца м. п. стекла в вакууме под нагревом поглощение поверхностных групп ОН обуславливает узкую интенсивную полосу у 3740 см^{-1} (рис. 1, 1). После адсорбции паров любого из исследованных нами соединений происходит ослабление исходной узкой полосы у 3740 см^{-1} и появление широкой полосы с максимумом поглощения, смещенным в сторону меньших частот. Величина смещения зависит от природы адсорбированных молекул.

Опыт показал, что при адсорбции таких веществ, как бензол, толуол, этилбензол, которые легко десорбируют с м. п. стекла при 20° под откачкой, не удается установить сдвига максимумов поглощения, соответствующих колебаниям СН-связей как бензольного кольца, так и алифатического заместителя. Полоса групп ОН поверхности м. п. стекла, почти не смещающаяся при адсорбции бензола, в случае адсорбции толуола и этилбензола смещается на 120 см^{-1} . Смещение сопровождается расширением и увеличением интенсивности полосы (рис. 1, 2).

Адсорбция карбонилсодержащих соединений — ацетона, бензальдегида и ацетальдегида, для которых десорбция не заканчивается даже после продолжительной (несколько суток) откачки при температуре адсорбента 20° , приводит к сильному расширению полосы групп ОН поверхности, смещению ее максимума и значительному усилению смещенного максимума по сравнению с исходным. Смещение максимума поглощения составляет 290 см^{-1} в случае бензальдегида и ацетальдегида и 370 см^{-1} в случае ацетона (рис. 1, 3; рис. 2, 2). Кроме этого наблюдается смещение максимумов поглощения карбонильных групп в сторону меньших частот и максимумов поглощения связей С—Н в сторону больших частот (табл. 1). Направление смещения максимумов поглощения можно объяснить тем, что при адсорбции происходит взаимодействие атомов О карбонильных групп с кислотными группами ОН поверхности м. п. стекла. Наряду со сдвигом полос поглощения при адсорбции наблюдаются и более глубокие изменения спектров молекул, выражающиеся в изменении относительных интенсивностей полос (см. рис. 2).

При адсорбции метанола полоса поверхностных групп ОН сильно расширяется, и ее максимум смещается до 3500 см^{-1} . Сильное расширение полосы, повидимому, является результатом наложения полосы возмущенных групп ОН поверхности и полосы групп ОН адсорбиро-

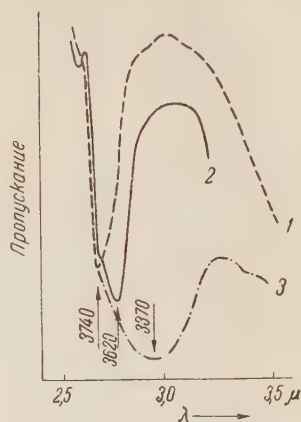


Рис. 1. Изменения полосы поглощения поверхностных групп ОН м. п. стекла, 1 — исходный обезвоженный образец (3740 см^{-1}); 2 — образец с адсорбированным этилбензолом (3620 см^{-1}); 3 — образец с адсорбированным ацетоном (3370 см^{-1})

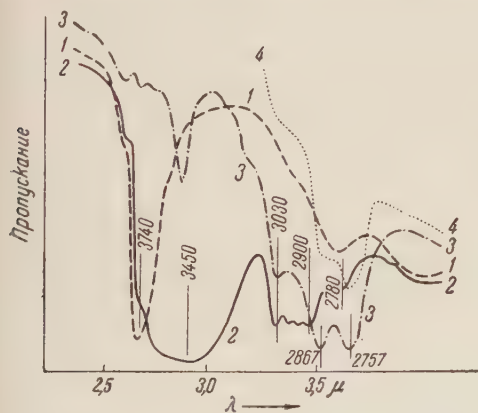


Рис. 2. Изменение спектра ацетальдегида при адсорбции. 1 — исходный образец м. п. стекла; 2 — образец с адсорбированным ацетальдегидом; 3 — раствор ацетальдегида в CCl_4 ; 4 — пары ацетальдегида

При адсорбции метанола полоса поверхностных групп ОН сильно расширяется, и ее максимум смещается до 3500 см^{-1} . Сильное расширение полосы, повидимому, является результатом наложения полосы возмущенных групп ОН поверхности и полосы групп ОН адсорбиро-

ванного метанола. Две полосы, соответствующие колебаниям групп CH_3 метанола, немного смещены по сравнению с полосами растворенного в CCl_4 метанола в сторону больших частот (рис. 3, 2 и 4). Откачка адсорбата при температуре до 450° в течение нескольких часов, судя по сохранению полос групп CH_3 , не ведет к десорбции метанола. Однако

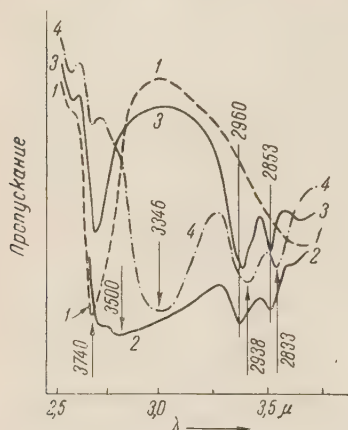


Рис. 3. Изменение спектра метанола при адсорбции. 1 — исходный образец м. п. стекла; 2 — образец с адсорбированным метанолом; 3 — тот же образец после тренировки в вакууме при 450° в течение 3 час.; 4 — жидкий метанол

при этом полностью исчезает широкая полоса 3500 см^{-1} , соответствующая возмущенным группам OH поверхности, а остающаяся узкая полоса невозмущенных OH групп (3740 см^{-1}) оказывается уменьшенной по интенсивности по сравнению с той же полосой образца м. п. стекла в исходном состоянии до адсорбции (рис. 3, 1 и 3). После пребывания такого прокаленного в вакууме образца м. п. стекла с адсорбированным метанолом в парах H_2O интенсивность полос групп CH_3 метанола в спектре образца сильно уменьшилась. Перечисленные факты: уменьшение интенсивности полосы поверхностных групп OH после откачки при 450° и сохранение при этом полос групп CH_3 — повидимому, подтверждают предположение А. В. Киселева о реакции CH_3OH с поверхностными группами OH силикагеля с образованием эфирных групп $-\text{O}-\text{CH}_3$ на поверхности силикагеля (7).

Адсорбция газообразного аммиака ведет к смещению его полос поглощения (табл. 1). При этом в случае больших покрытий поверхности м. п. стекла адсорбированным аммиаком полоса поверхностных групп OH стекла 3740 см^{-1} полностью исчезает, а вместо нее появляется полоса с максимумом поглощения 3620 см^{-1} , смещенная относительно первой на 120 см^{-1} .

При адсорбции пиридина, который под откачкой при температуре образца 20° десорбирует с большим трудом, максимум поглощения полосы поверхностных групп OH смещается на 80 см^{-1} . Полосы, соответствующие валентным колебаниям связей CH адсорбированного на м. п. стекле пиридина, не разрешены нашим прибором вследствие наложения возникших при адсорбции пиридина интенсивных полос поглощения с максимумами 2930 и 2850 см^{-1} , интерпретация которых требует дополнительного исследования.

Настоящая работа выполнена под непосредственным руководством акад. А. Н. Теренина. Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность В. А. Никитину и А. В. Карякину за помощь в работе.

Поступило
15 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. С. Молчанова, И. В. Гребенщиков, ЖОХ, 12, 588 (1942).
- ² Н. Г. Ярославский, А. Н. Теренин, ДАН, 66, 885 (1949); Н. Г. Ярославский, ЖФХ, 24, 68 (1950); Н. Г. Ярославский, А. В. Карякин, ДАН, 85, 1103 (1952).
- ³ Н. Г. Ярославский, ЖФХ, 22, 265 (1948).
- ⁴ Г. Г. Неуймин, Оптико-механ. промышленность, № 1, 3 (1947).
- ⁵ Б. П. Козырев, УФН, 44, 173 (1951).
- ⁶ В. М. Зезюлинский, ЖФХ, 24, 1442 (1950).
- ⁷ О. М. Джигит, А. В. Киселев, Н. Н. Микос-Авгуль, К. Д. Щербаков, ДАН, 70, 441 (1950).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. И. УРИЗКО и М. В. ПОЛЯКОВ

**О ВЛИЯНИИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕНОК НА ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНА
В ФОРМАЛЬДЕГИД**

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 17 II 1954)

Из ряда работ (1-3) известно, что стенки реакционных сосудов весьма сильно влияют на кинетику и механизм цепных реакций, в том числе реакций неполного окисления углеводородов в отсутствие катализаторов. В настоящее время не подлежит сомнению, что такого рода реакции протекают по гетерогенно-гомогенному механизму: зарождение и обрыв цепей осуществляются на поверхности стенок реакционных сосудов (4-6).

В связи с такой точкой зрения представляло интерес изучение влияния стенок реакционного сосуда на кинетику окисления метана в формальдегид методом раздельного калориметрирования (7), позволяющим выявлять ряд деталей, связанных с протеканием сложных цепных реакций по гетерогенно-гомогенному механизму. Исследование представляло также интерес в связи с проблемой превращения метана в формальдегид, в которой подбор материала реакторов, насадки и катализаторов является сложной, не разрешенной до сих пор задачей.

Ниже будет приведена часть опытных данных, полученных в статических условиях в кварцевом сосуде диаметром 56 мм и длиной 220 мм, со смесью, содержащей 15% метана и 85% воздуха, а также, в ряде опытов, 1,37% окислов азота по отношению к метану.

В приводимых здесь графиках содержание кислорода дано в объемных процентах ко всей смеси метан + воздух, а продукты реакции — в процентах к начальному содержанию в смеси метана. Условия постановки опытов указаны в подписях к рисункам.

Из рис. 1 видно, что разогрев в центре сосуда связан с гомогенным образованием формальдегида. В связи с данными рис. 1 приобрели интерес опыты с той же 15% метано-воздушной смесью с добавкой 1,37% окислов азота, снижающих температуру реакции и повышающих вывод формальдегида.

Из рис. 2 видно, что только при 525° кривая разогрева имеет обычный характер (см. рис. 1); остальные кривые разогрева имеют два макси-

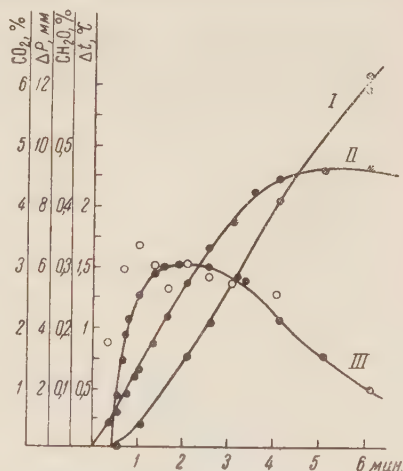


Рис. 1. Сопоставление кривой разогрева в газовом объеме (II) с кривой изменения давления (II), кривой накопления углекислого газа (I) и альдегида (светлые кружки). $P_0 = 442$ мм рт. ст. $t = 594^\circ$. Состав смеси: 15% $\text{CH}_4 + 85\%$ воздуха

му, причем время достижения второго максимума по мере понижения температуры закономерно увеличивается, в отличие от первого максимума, возникающего при всех изученных температурах почти в одно и то же время.

Аналогичные результаты были получены другими авторами при катализе HBr и NO_2 в реакции окисления пропана ^(8, 9) и одновременно нами при катализе окислами азота в реакции окисления метана ⁽¹⁰⁾ *.

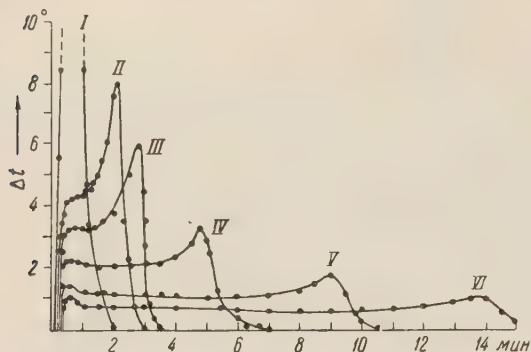


Рис. 2. Кинетика разогрева в газовом объеме при 525° (I), 515° (II), 510° (III), 500° (IV), 490° (V) и 480° (VI). $P_0 = 300$ мм рт. ст. Состав смеси: 15% $\text{CH}_4 + 85\%$ воздуха + 1,37% NO (по метану)

разложения формальдегида на стенках кварцевого сосуда.

На рис. 4 приведены данные, полученные в том же кварцевом сосуде, стенки которого были покрыты тетраборатом калия. Из рис. 4 видно, что

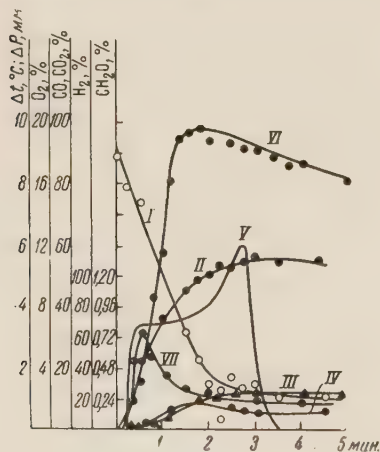


Рис. 3. Сопоставление кривой разогрева в газовом объеме (V) с кривой расхода кислорода (I), кривой накопления CO (II), CO_2 (III), H_2 (IV), формальдегида (VII) и кривой изменения давления (VI). $P_0 = 300$ мм рт. ст. $t = 510^\circ$. Состав смеси: 15% $\text{CH}_4 + 85\%$ воздуха + 1,37% NO (по метану)

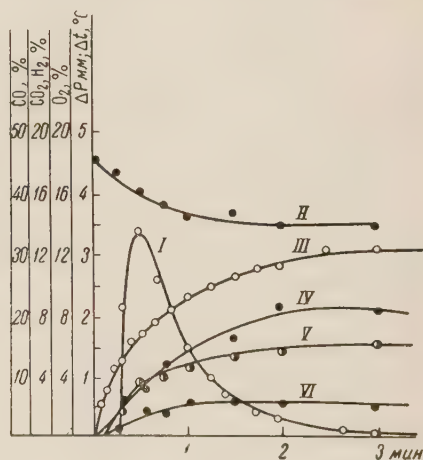


Рис. 4. Сопоставление кривой разогрева в центре сосуда (I), стенки которого были покрыты тетраборатом калия, с кривой расхода кислорода (II), изменения давления (III), накопления окиси углерода (IV), водорода (V) и углекислого газа (VI); условия опыта указаны в подписи к рис. 3

в таких условиях, несмотря на присутствие окислов азота, кривая разогрева имеет только максимум, обуславливаемый образованием формаль-

* Сообщения об этих результатах были сделаны М. В. Поляковым и Н. М. Эмануэлем на Всесоюзном совещании по катализу в январе 1953 г.

дегида; отсутствие второго максимума, очевидно, связано с слабым разложением формальдегида на поверхности тетрабората до окиси углерода и водорода (см. кривые IV, V). Этот вывод подтверждается кривой II, из которой видно, что в таких условиях кислорода затрачивается очень мало из-за отсутствия гомогенного горения, обуславливающего второй максимум.

Сопоставление данных, приведенных на рис. 3 и 4, приводит к заключению, что поверхность стенок сильно влияет на образующийся в гомогенной фазе формальдегид, степень гетерогенного разложения которого до CO и H₂, повидимому, определяет наличие или отсутствие второго максимума разогрева.

Институт физической химии
им. Л. В. Писаржевского
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. В. Поляков, И. М. Малкин, В. А. Александрович, ЖФХ, **5**, 58 (1934). ³ М. В. Поляков, А. В. Корнеева, ЖФХ, **9**, 260 (1937). Н. Н. Семенов, Цепные реакции, 1934. ⁴ Н. Н. Семенов, ЖФХ, **20**, 673 (1951). ⁵ А. В. Налбандян, С. М. Шубина, ЖФХ, **20**, 1249 (1946). А. М. Маркевич, ЖФХ, **22**, 941 (1948). ⁷ М. А. Богоявленская, А. А. Котальский, ЖФХ, **20**, 1325 (1946). ⁸ Н. М. Эмануэль, З. К. Майзус, А. М. Маркевич, ДАН, **89**, 1049 (1953). ⁹ Н. М. Эмануэль, ДАН, **95**, № 3 (1954). ¹⁰ В. И. Уризко, М. В. Поляков, Докл. АН УССР, № 6, 397 (1953).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. М. ЧИРКОВ и М. И. ВИННИК

**КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ РЕАКЦИЙ В ПРИСУТСТВИИ ТОНКИХ
ПЛЕНОК НЕЛЕТУЧИХ КИСЛОТ**

ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ИЗОБУТИЛЕНА НА ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 13 II 1954)

Существование гетерогенного кислотного катализа в области полимолекулярной адсорбции, впервые обнаруженное в нашей лаборатории ⁽¹⁾, привело нас к естественному выводу о том, что нелетучие кислоты, нанесенные в виде тонких пленок на твердые тела, должны вести себя как непрерывно действующие гетерогенные катализаторы для весьма широкого круга химических процессов, протекающих по кислотно-основному механизму.

Отличие ранее обнаруженного типа гетерогенного катализа от постулируемого, очевидно, заключается в том, что в первом случае реакция возможна постольку, поскольку реагенты в состоянии сами создать для себя «реакционное пространство» в виде адсорбированной полимолекулярной пленки; в рассматриваемом же случае такие пленки создаются искусственным образом и, следовательно, круг возможных процессов значительно расширяется за счет таких, в которых реагенты хотя и способны взаимодействовать по кислотно-основному механизму, однако не в состоянии адсорбироваться в виде полислоев.

Протекание процесса как гетерогенного в данном случае возможно при осуществлении, по крайней мере, трех условий: исходные продукты должны адсорбироваться пленкой, реагировать по кислотно-основному механизму, а конечные продукты должны иметь достаточно большую упругость пара над данной кислотой.

В первую очередь нами была исследована кинетика полимеризации изобутилена в присутствии фосфорно-кислотных пленок. Необходимо отметить, что несмотря на то, что реакция полимеризации изобутилена в присутствии кислот открыта А. М. Бутлеровым ⁽²⁾ более 75 лет назад и в настоящее время нашла широкое применение в синтезе высокооктановых топлив, кинетика процесса до сих пор практически не изучена. Это замечание тем более может быть отнесено к реакциям полимеризации других олефинов.

Одна из принципиальных причин такого положения заключается в трудности выяснения истинной кинетики из-за диффузионных процессов, сопровождающих растворение исходных продуктов в жидкостном катализаторе и выделение конечных продуктов из него, так как эти процессы обычно проводятся в присутствии большого количества жидких кислот. Метод изучения кинетики каталитического процесса в присутствии достаточно тонких пленок позволяет избежать эти трудности.

Пленочный гетерогенный кислотный катализатор состоит из жидкой фазы — пленки нелетучей кислоты — и носителя с ровной поверхностью, на котором нанесена жидкая пленка. Носитель должен быть инертным по отношению к кислоте, т. е. он должен не растворяться в кислоте и не реагировать с нею. В качестве носителя применялись: в первой серии

опытов 1800 трубочек из плавленого кварца общей поверхностью 0,53 м² в реакторе объемом 0,35 л; во второй серии опытов — 200 трубочек в молибденового стекла общей поверхностью 0,9 м² в реакторе объемом 0,683 л. Нанесение пленок осуществлялось промыванием трубочек в разбавленной кислоте с последующим просушиванием.

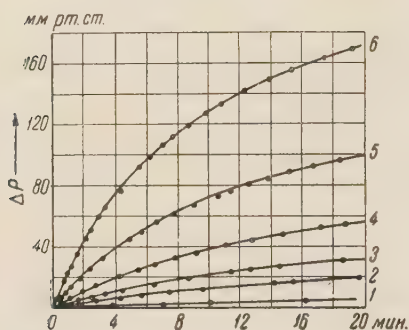


Рис. 1. Кинетические кривые полимеризации iC_4H_8 при $T=90^\circ$. Катализатор фосфорная кислота на кварце. $P_{H_2O}=8,4$ мм рт. ст. (72% P_2O_5). 1— $P_{iC_4H_8}=50,5$ мм; 2—101,5 мм; 3—143 мм; 4—205 мм; 5—329 мм; 6—486 мм рт. ст.

ностью подтвердили исходное предположение о возможности протекания полимеризации изобутилена в присутствии тонких фосфорнокислых пленок, как гетерогенного процесса. На рис. 1 приводятся кинетические кривые полимеризации.

Как видно из рис. 2, где изображена зависимость $1/P_{iC_4H_8}$ от t , представленные на рис. 1 кинетические кривые удовлетворительно описываются уравнением второго порядка. В случае малых давлений iC_4H_8 (50—150 мм рт. ст.) при $T=80^\circ$ и $T=90^\circ$ бимолекулярным уравнением хорошо описываются кинетические кривые до 70% превращения, причем константа скорости в пределах точности измерений независима от начального давления. При больших превращениях заметен плавный рост константы, что, в основном, связано с образованием тримера. При повышении давления iC_4H_8 и понижении температуры наблюдаются четкие отклонения от бимолекулярности.

При малом давлении изобутилена $P_{iC_4H_8}=100$ мм рт. ст., когда только наблюдается бимолекулярность процесса, были изучены зависимости скорости полимеризации от количества нанесенной кислоты, от концентрации кислоты и температуры.

Как и следовало ожидать, скорость реакции (точнее, константа скорости) при данном давлении изобутилена и данной концентрации кислоты — катализатора пропорциональна количеству кислоты, нанесенной на одну и ту же поверхность (см. табл. 1). Это означает, что в данно

Варьируя концентрацию кислоты, возможно было нанести на поверхность различное количество ее и, следовательно, иметь различные толщины пленок. Средняя толщина пленки определялась как отношение объема нанесенной кислоты к геометрической поверхности носителя.

Для создания и поддержания пленке катализатора необходимой концентрации кислоты перед каждым опытом в реакторе (над катализатором) устанавливалась равновесная упругость водяного пара для жидкой кислоты той же концентрации и при той же температуре.

Кинетика процесса изучалась по изменению давления в ходе превращения. Конечные продукты после реакции вымораживались и могли быть проанализированы. Проведенные опыты по

Таблица 1

Зависимость константы скорости от количества кислоты, нанесенной на одну и ту же поверхность. ($T=70^\circ$) Катализатор фосфорная кислота на молибденовом стекле $P_{H_2O}=3$ мм рт. ст. (72% P_2O_5)

Колич. H_3PO_4 г в Г	$K \cdot 10^4$ в $\frac{1}{\text{мм} \cdot \text{мин.}}$	$\frac{K}{G} \cdot 10^4$	Толщина пленки Å
0,216	3,1	14,35	1310
0,492	8,13	16,53	2980
0,696	10,8	16,45	3970

лучае процесс протекает во всей толще катализирующей пленки и его скорость не лимитируется диффузионными помехами (по крайней мере о толщине 3900 Å).

Пропорциональность скорости реакции количеству нанесенной кислоты говорит о том, что в катализе принимает участие вся нанесенная кислота, и определенные в таких условиях константы скорости характеризуют абсолютную (максимальную) каталитическую активность кислоты данной концентрации для изучаемого процесса.

Было установлено, что каталитическая активность гетерогенного пленочного катализатора чрезвычайно резко зависит от упругости водяного пара над ним, т. е. от концентрации кислоты в пленке. В случае фосфорнокислотного катализатора при $T = 70^\circ$ (см. рис. 3 и табл. 2) увеличение равновесной упругости водяного пара над кислотой от $P_{H_2O} = 1$ мм до $P_{H_2O} = 35$ мм приводит к уменьшению константы скорости в 125 раз. Вполне естественно, что столь резкая зависимость константы скорости от концентрации кислоты в пленке является, в конечном счете, отражением действия функции кислотности H_0 катализирующей среды, как это имеет место при катализе кислотами в жидкой фазе.

В литературе имеются данные по величинам функции кислотности водных растворов фосфорной кислоты до 87% концентрации H_3PO_4 при $T = 20^\circ$ (3).

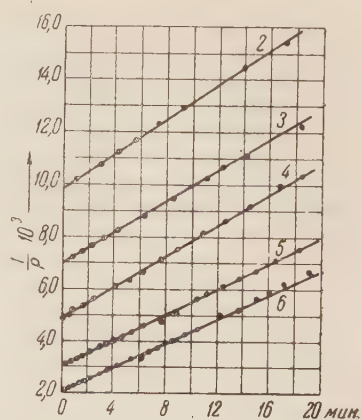


Рис. 2. Зависимость $\frac{1}{v} \left[\frac{1}{\text{мм рт. ст.}} \right]$ от времени t [мин.] (условия опытов и обозначения кривых см. рис. 1)

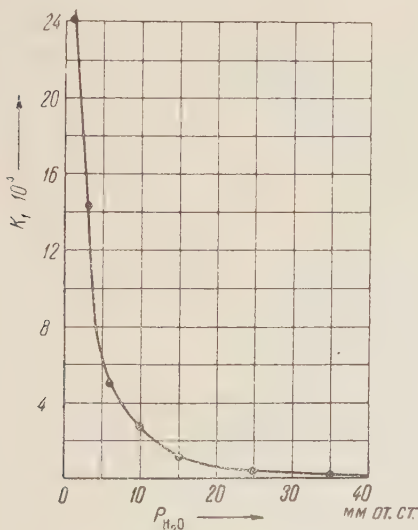


Рис. 3. Зависимость скорости полимеризации iC_4H_8 от упругости водяного пара над фосфорной кислотой при $T = 70^\circ$. $P_{iC_4H_8} = 100$ мм рт. ст. Носитель — молибденовое стекло

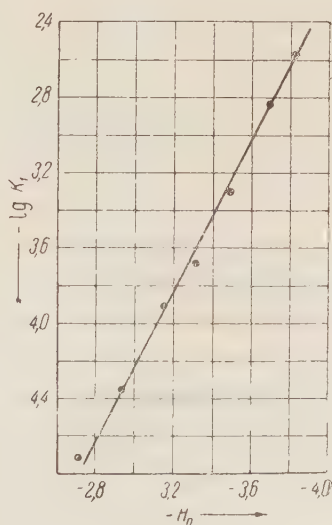


Рис. 4. Зависимость $\lg K_1$ от функции кислотности при $T = 70^\circ$. Катализатор фосфорная кислота на молибденовом стекле. $P_{iC_4H_8} = 100$ мм рт. ст.

Однако нас не мог удовлетворить диапазон охваченных концентраций, мы измерили H_0 растворов H_3PO_4 индикаторным методом (4) при

$T = 20^\circ$ и $T = 70^\circ$. Одновременно были измерены упругости паров воды при различных температурах над водными растворами H_3PO_4 интересующих нас концентраций. Это дало возможность сопоставить константы скорости K_1 непосредственно с функцией кислотности H_0 (табл. 2).

Таблица 2*

Зависимость константы скорости полимеризации от упругости водяного пара над фосфорной кислотой и от ее функции кислотности. ($T = 70^\circ$. Носитель из молибденового стекла)

$P_{\text{C}_4\text{H}_8}$ в мм рт. ст.	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ в мм рт. ст.	$K_1 \cdot 10^4$ в $\frac{1}{\text{мм} \cdot \text{мин}}$	H_0 при $T = 70^\circ$
98,5	35	0,193	-2,71
97,5	25	0,452	-2,915
101	15	1,215	-3,15
107	10	2,085	-3,32
100,5	6	5,04	-3,5
100	3	14,35	-3,69
100	1	24,1	-3,83

* Посредством константы K_1 вычисляется скорость w , выражающая убыль $i\text{C}_4\text{H}_8$ в мм рт. ст./мин. в реакторе со свободным объемом $v = 1$ л при содержании в катализаторе 1 г кислоты (считая на 100% H_3PO_4). Приведенные значения H_0 отличаются от истинных значений H_0 на величину P_K индикатора орто-нитроанилина при $T = 70^\circ$.

наносимых на поверхность тонких пленок жидкостного катализатора.

Метод изучения химических процессов в присутствии жидких пленок позволяет определять истинную кинетику гомогенного катализа в жидкой фазе во всех тех случаях, когда реагирующие вещества плохо растворимы в жидкой среде (не образуют гомогенных смесей с жидкостным катализатором), позволяет найти максимальную (или абсолютную) активность жидкого катализатора и указывает пути наиболее рационального его использования.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
3 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Гольданский, И. М. Чирков, ЖФХ, 20, 1336 (1946).
² А. М. Бутлеров, ЖРХО, 9, 38 (1877); 11, 197 (1879). ³ E. Helbronner, S. Weber, Helv. Chim. Acta, 32, 1513 (1949). ⁴ L. P. Hammett, A. I. Deyrup, J. Am. Chem. Soc., 54, 2721 (1932). ⁵ L. P. Hammett, Physical Organic Chemistry, N. Y.—London, 1940; А. И. Штенштейн, Теория кислот и оснований, 1949.

На рис. 4 представлена эта зависимость в виде $\lg K_1 = f(\text{H}_0)$. Как видим, эта зависимость линейна. Однако в данном случае для тангенса угла наклона получено значение 2 ($\lg K + 2\text{H}_0 = b$), в то время как ранее для многих ионно-каталитических процессов (⁵) получено значение тангенса равное 1.

В заключение отметим, что изменение константы скорости с температурой в интервале $70-90^\circ$ может быть описано уравнением Аррениуса, причем видимая энергия активации равна -5400 кал/моль.

Принципиальный итог данной работы, по нашему мнению, заключается в том, что экспериментально доказана возможность протекания гетерогенных реакций в присутствии искусственно

Л. В. ТАУСОН

О ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 16 II 1954)

Изучению геохимии редких и рудных элементов в изверженных горных породах в последнее время уделяется большое внимание. Однако до последнего времени вопросы геохимии редких элементов в изверженных горных породах решались исключительно с позиций изоморфизма. При этом, пожалуй, единственным методом достаточно детального исследования геохимии редких элементов в породах являлось изучение их распределения по мономинеральным фракциям породы и выявление специфических минералов-концентраторов.

В настоящее время уместно поставить вопрос о том, что решение этой проблемы только с позиций изоморфизма недостаточно. Особенно это касается группы рудных элементов (Cu, Pb, Mo, W, Sn, Hg и др.), для которых ограниченность их изоморфных возможностей в породообразующих минералах определяется, видимо, тем, что они, в отличие от петрогенных элементов, не могут образовывать в силикатах соединений с ионным типом связи. Например, В. М. Гольдшмидт ⁽²⁾ уже довольно давно высказывал предположение, что свинец в изверженных горных породах присутствует главным образом в виде галенита, подтверждающееся многими наблюдениями. Э. Б. Санделл и С. С. Голдич ⁽⁶⁾ приходят к выводу, что медь в вулканических породах Мичиганского медного района находится главным образом в форме сульфидов. Х. Нейман ⁽⁴⁾ в результате кристаллохимического анализа силикатных соединений цинка указывает на ограниченность изоморфных возможностей этого элемента в железомagneзиевых силикатах.

Для олова факт его нахождения в породах в виде касситерита (SnO_2) хорошо известен. Достаточно хорошо известны граниты с акцессорным молибденитом.

Таким образом, наблюдающиеся факты, а также анализ изоморфных возможностей редких и рудных элементов в породообразующих минералах изверженных горных пород показывают, что для ряда элементов, особенно рудных, силикатная форма их нахождения в породах в виде изоморфной примеси в породообразующих минералах не может считаться единственной.

Рассматривая вопрос о других формах нахождения редких элементов в изверженных горных породах, необходимо прежде всего обратиться к тем представлениям о рассеянии элементов, которые были сформулированы В. И. Вернадским еще в 1910 г. Развивая эти представления, В. И. Вернадский указывал: «За учитываемыми нами молекулами или пространственными решетками атомов (т. е. кристаллами) — вне их — находятся еще мириады свободных, движущихся атомов, которые в наших анализах оказываются ничтожными дробями весовых процен-

тов» (1). В качестве примера элементов рассеяния он приводил иод, бром, радиоактивные элементы и ряд других.

Сейчас уже можно говорить о том, что в изверженных горных породах атомы одного и того же химического элемента находятся в двух отличных друг от друга состояниях или формах нахождения. Одна часть атомов элемента, часто наибольшая, связана в решетках породообразующих минералов либо в виде основного компонента, либо в виде изоморфной примеси. Эта часть атомов элемента прочно связана в кристаллических постройках силикатов, малоподвижна и обретает способность к миграции только после разрушения или полного метаморфизма силикатной решетки и может быть названа силикатной формой нахождения элемента. Другая же часть атомов данного элемента не входит в решетки породообразующих минералов ни в качестве главного компонента, ни как изоморфная примесь. Эта часть атомов образует соединения простейшего состава (окислы, сульфиды и др.) и по положению в породе резко отличается от силикатной формы. Внесиликатная форма нахождения элементов часто характеризуется большей подвижностью и высокой миграционной способностью. Минералогически эта форма нахождения охватывает ряд образований, начиная от специфических акцессорных минералов (касситерит, магнетит, рутил, пирит, галенит и т. д.), образуя субмикроскопические выделения этих или аналогичных им минералов простейшего состава и доходя до состояния молекулярного и атомного рассеяния, о котором говорил В. И. Вернадский.

Отличие этих двух форм нахождения атомов химических элементов в изверженных горных породах может быть продемонстрировано на примере даже такого распространенного элемента, как железо.

Хорошо известно, что часть атомов этого элемента входит в качестве одного из главных компонентов в решетку породообразующих минералов — силикатов (биотит, роговая обманка и др.). В этом случае железо прочно связано, и его освобождение возможно только после разрушения решетки соответствующих силикатов. Это отвечает тому понятию, которое вкладывается в представление о силикатной форме нахождения элемента.

С другой стороны, во многих изверженных породах железо встречается, с одной стороны, в виде магнетита (Fe_3O_4) и пирита (FeS_2), а с другой — в виде тонко распыленного гематита (Fe_2O_3) в полевых шпатах. В последнем случае, как было показано С. М. Курбатовым и Л. Л. Солодовниковой (3), железо может быть легко извлечено (выщелочено) из полевых шпатов слабым раствором соляной кислоты без нарушения целостности кристаллической решетки этих минералов. Совершенно ясно, что атомы железа, находящиеся в породе вне решеток силикатов в таком относительно свободном состоянии, достаточно подвижны, и для их удаления из породы не требуется разрушения решеток силикатов. Это отвечает тому понятию, которое вкладывается в представление о внесиликатной форме нахождения элемента.

То же может быть продемонстрировано и для других, более редких элементов.

Часть олова, безусловно, находится в гранитоидах в виде силикатной формы — изоморфной примеси в железо-магниевого силикатах (биотит). При этом чем больше в гранитоиде магния (биотита), тем больше олова связано в решетках силикатов и тем меньшее его количество остается в виде внесиликатной, главным образом окисной, формы. Минералогическим выражением внесиликатной формы является и видимый касситерит, хотя он, вероятно, составляет только часть этой формы нахождения олова. Последнее косвенно подтверждается данными И. Оттемана (5). Значительная доля внесиликатного олова будет, видимо, представлена субмикроскопическими выделениями касситерита. К внесиликатной форме нахождения должны быть отнесены и выделения сульфидов свинца, меди и других рудных элементов, встречающихся иногда в породах и, вероят-

но, в своей основной части пока невидимые. Таким образом, анализ явлений изоморфизма⁽⁸⁾ и ряд известных уже фактов дают возможность предполагать, что в изверженных горных породах и прежде всего в гранитоидах некоторые редкие и особенно рудные элементы, находятся в виде двух основных форм: силикатной и внесиликатной.

Состав выделений последней зависит прежде всего от особенностей строения атомов элементов. Внесиликатная форма нахождения элементов, обладающих большим сродством к кислороду, должна быть представлена в основном простейшими кислородными соединениями (в частности, окислы Fe, Sn и др.). Для элементов, обладающих большим сродством к сере, эта форма должна быть представлена сульфидами (Pb, Zn и т. д.). Наконец, внесиликатная форма нахождения ряда элементов, характеризующихся слабой химической активностью, должна быть представлена самородными выделениями (золото, платина). Наиболее существенной особенностью внесиликатной формы нахождения элементов является ее подвижность и возможность извлечения и удаления ее из породы специфическими растворителями (природными и искусственными) без разрушения решеток породообразующих минералов.

Извлечение из породы внесиликатной формы того или иного элемента специфическими растворителями дает в руки геохимиков новый метод исследования. Проведение подобных опытов показало, что в ряде случаев возможно внесиликатную форму элемента извлекать из породы почти нацело, не разрушая решеток породообразующих минералов. В частности, предварительные данные по выщелачиванию свинца показали, что этот элемент в некоторых гранитоидах на 70—80% находится в виде внесиликатной (видимо, сульфидной) формы. Однако высказанные предположения пока подкреплены только предварительными опытами и требуют детальной экспериментальной проверки.

С другой стороны, представление о внесиликатной форме нахождения элементов требует более внимательного изучения явлений изоморфизма. Представляется, что в круг понятий изоморфизма должно быть введено представление об изоморфной емкости минералов, ибо уже сам факт существования внесиликатной формы свидетельствует о том, что изоморфная емкость минералов — концентратов данного элемента является ограниченной. Последнее может быть с успехом продемонстрировано на примере олова. Несмотря на то, что олово в гранитах обычно содержится в очень малых количествах (10^{-3} — $10^{-4}\%$), только часть его входит изоморфно в решетку биотита. После достижения предела изоморфного насыщения олово в биотит больше входить не может, и избыток его сбрасывается в виде выделений внесиликатной формы (в частности, касситерита).

Естественно возникает вопрос — почему же все олово не могло войти в решетку биотита? Представляется, что и в данном случае биотит, обладая определенной изоморфной емкостью в отношении олова, после достижения предела изоморфного насыщения не мог принять в свою решетку дополнительное количество атомов этого элемента.

Изучение изоморфной емкости минералов — концентратов редких элементов в зависимости от разных условий среды, химического состава и хода дифференциации магматического очага даст возможность подойти ближе к выявлению законов распределения редких элементов при процессах кристаллизации магматического очага.

В целом имеющийся материал позволяет сделать следующие выводы.

1. Атомы большинства химических элементов в изверженных горных породах находятся в двух формах нахождения: силикатной и внесиликатной. К атомам данного элемента, имеющим силикатную форму нахождения, относится та их часть, которая входит в состав решетки силикатов как основной компонент или изоморфная примесь. Остальная часть атомов данного элемента, не вошедшая в решетки силикатов и образо-

вавшая макроскопические, микроскопические и субмикроскопические выделения простейших соединений (главным образом окислы и сульфиды), должна быть отнесена к внесиликатной форме нахождения.

2. Понятие о двух формах нахождения атомов химических элементов в изверженных горных породах может помочь решению вопросов о роли рудного вещества вмещающих пород в гидротермальном процессе, потенциальной рудности интрузий и т. д.

3. Существование двух форм нахождения атомов химических элементов требует более глубокого изучения явлений изоморфизма в минералах изверженных горных пород с точки зрения их изоморфной емкости, которая может помочь выявлению геохимических особенностей процессов кристаллизации пород.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вернадский, Отчет о деятельности Академии наук за 1926 г., 1927 стр. 1—15. ² V. M. Goldschmidt, Nature, 4 (1937). ³ С. М. Курбатов, Л. Л. Солодовникова, Тр. Гос. исслед. керамич. инст., в. II (1928). ⁴ H. Neumann, Min. Mag., 28, 205 (1949). ⁵ I. Otteman, Zs. f. angew. Mineralog., 3, N. 2, 142 (1940). ⁶ Э. Б. Санделл, С. С. Голдич, Сборн. Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах, ИЛ, 1952, стр. 183—227. ⁷ А. А. Сауков, Тр. ИГН АН СССР, в. 78 (1946). ⁸ Л. В. Таусон, Сборн. Вопросы петрографии и минералогии, I, Изд. АН СССР, 1953, стр. 53—65.

М. А. ГУБЕРНИЕВ, И. Г. КОВЫРЕВ и М. Д. УШАКОВА

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ
В СЛЮННЫХ ЖЕЛЕЗАХ ПРИ БЕЗУСЛОВНОМ И УСЛОВНОМ
РАЗДРАЖЕНИИ**

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 14 XI 1953)

Нами (¹, ²) установлено, что в пищеварительных железах при секреции наряду с расходом веществ наблюдаются восстановительные процессы в ткани. Показателем этих восстановительных процессов является накопление в секретирующих клетках железы нуклеиновых кислот, связанное, вероятно, с синтезом белковой части секрета.

В настоящее время имеются методы, позволяющие анализировать поведение нуклеиновых кислот в тончайших структурах клетки. Кроме того, применяя фосфор в качестве изотопа для нуклеиновых кислот, можно наблюдать процессы обмена последних в таких условиях эксперимента, которые дают наиболее близкое представление о ходе физиологических процессов в целом организме; можно проследить динамику этих процессов, ближе подойти к выяснению сущности механизма процессов обмена нуклеиновых кислот. Об активности этих процессов можно судить на основании изучения скорости кругооборота указанных веществ (³⁻⁵).

Благодаря этим исследованиям был сделан вывод, что в молекулах нуклеиновых кислот обмен групп, в частности содержащих фосфор, не затрагивает обмена пуринов. Так же было установлено, что нуклеиновые кислоты концентрируются в тех органах и тканях, в которых идут процессы быстрого синтеза белка. В таких органах и тканях содержится особенно много рибонуклеиновой кислоты. В активно секретирующих железах пищеварительного тракта, например, поджелудочная железа, слизистые стенки желудка, их клеточная цитоплазма заполнена гранулами, содержащими рибонуклеиновую кислоту. Кстати, гранулам и митохондриям, которые снабжены мощным набором дыхательных ферментов, придается большое значение как активным факторам белкового синтеза в клетке.

Так как было показано (⁶), что гранулы принимают участие в синтезе белка, то естественно возникает вопрос: каково же участие нуклеиновых кислот в этом процессе? Этот вопрос разрешился бы просто, если бы были прямые опыты, показывающие необходимость энергии для такой эндотермической реакции, как образование пептидной связи. Имеются данные (⁷, ⁸), позволяющие сделать заключение, что в некоторых случаях такие соединения как аденозинтрифосфорная кислота, содержащая макро-эргические фосфорные связи, принимает участие в реакции фосфорилирования, сопряженной с реакцией образования пептидной связи.

Надо полагать, что решение этого вопроса можно проводить на целом организме, взяв за основу внешнюю секрецию и внутреннюю работу

слюнных желез, тем более что эта секреция и внутренняя работа неразрывно связаны между собой, взаимообусловлены друг другом.

Однако следует учитывать, что интенсивность секреторного процесса, которая создает количественную и качественную изменчивость химического состава секрета, зависит от влияния со стороны центральной нервной системы. И. П. Павлов (9), исследуя «зависимость от нервов процесса восстановления материалов в слюнных железах», установил восстановление количества потерянного азота в подчелюстной железе собаки при секреции, вызванной раздражением центростремительного нерва.

Мы в своих опытах на собаках попытались выяснить изменение количества нуклеиновых кислот слюнных желез при безусловном и условном раздражениях. У собак под морфийно-эфирным наркозом производилась операция удаления околоушной и подчелюстной желез на одной стороне тела. Экстирпированные железы немедленно замораживались в жидком воздухе и служили объектом для контрольного анализа на содержание нуклеиновых кислот. Через 7—8 дней после операции, когда собака практически здорова, производился опыт, при котором у оперированной собаки вызывалось слюноотделение путем натурального пищевого условного рефлекса (при раздражении видом и запахом мяса), с последующим кормлением животного. Мясо в количестве 600—800 г скармливалось мелкими порциями на протяжении 20—35 минут. После кормления у животного под морфийно-эфирным наркозом довольно быстро производилась экстирпация околоушной и под-

Таблица 1

Изменение содержания нуклеиновых кислот в слюнных железах собаки при пищевом условном и безусловном рефлексах

А—контроль Б—опыт	Околоушные железы		Подчелюстные железы	
	Фосфор Н. К. в мг	% увеличения	Фосфор Н. К. в мг	% увеличения
А	9,87		12,2	
Б	10,50	6,4	12,7	5,0
А	10,99		13,60	
Б	14,40	31,0	14,65	8,0
А	4,75		не иссл.	не иссл.
Б	5,25	10,5		
А	5,30		»	»
Б	5,83	10,0		
А	3,87		»	»
Б	4,25	10,0		
А	2,75		2,37	
Б	4,00	45,0	4,50	89,7
А	2,37		4,0	
Б	3,83	61,1	6,45	61,2

челюстной желез другой стороны тела. Замороженные жидким воздухом железы подвергались исследованию на нуклеиновые кислоты методом Шнейдера (10). Таких опытов проведено 7. Результаты их приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, количество нуклеиновых кислот в слюнных железах при рефлекторном слюноотделении увеличилось по околоушной железе от 6,4 до 61,1%, а в среднем на 24,8%; по подчелюстной железе от 5,0 до 89,7%, а в среднем на 40,97%.

Далее нами проведена была серия опытов на собаках, у которых вырабатывался условный рефлекс слюноотделения на автоматический раздражитель. Для контрольного исследования предварительно до выработки условного рефлекса, у собаки под наркозом удалялись околоушная и подчелюстная железы с одной стороны тела. Железы сразу же замораживались в жидком воздухе и исследовались, как указано выше.

Образование условного рефлекса достигалось инъекцией собаке морфия, как это делалось в опытах Крылова (11) в лаборатории И. П. Павлова.

Морфий в количестве 0,04—0,08 г вводился в продолжение 6—7 дней под кожу на боку. Образовавшийся условный рефлекс проявлялся в том, что у собаки наблюдалось обильное и длительное слюноотделение при действии различных отдаленных раздражителей, сопровождавших введение морфия в организм, а именно: появление лица, вводившего морфий, показывание шприца, потирание ваткой места инъекции морфия.

Когда условный рефлекс уже образовался, в день опыта у собаки на протяжении 20—30 минут вызывалось условно-рефлекторное слюноотделение указанным выше методом, а затем на высоте секреции собаке быстро вводился тот же наркоз, что и в контроле, и производилось удаление околоушной и подчелюстной желез другой стороны тела. Замороженные жидким воздухом железы подвергались исследованию на содержание нуклеиновых кислот. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение содержания нуклеиновых кислот в слюнных железах собаки при условном раздражении на автоматический раздражитель

А — контроль Б — опыт	Околоушные железы				Подчелюстные железы	
	Содержание нуклеиновых кислот в мг на 1 г сухого вещества и % увеличения				Содержание нуклеиновых кислот в мг на 1 г сухого вещества и % увеличения	
	фосфор ДНК		фосфор РНК		Нуклеиновые кислоты	
	мг на 1 г сух. вещ.	%	мг на 1 г сух. вещ.	%	мг	%
А	3,12		3,25		4,69	
Б	3,12	0	4,37	34,4	5,00	6,61
А	2,8		4,0		—	
В	3,38	20,7	4,37	9,25	—	—
А	2,9		4,19		—	
В	3,38	16,55	4,63	10,5	—	—
А	2,5		3,90		4,75	
В	2,88	15,2	4,25	9,0	5,10	7,37
А	3,12		3,5		4,87	
В	4,43	40,7	4,81	37,4	5,13	5,34
А	3,25		4,31		4,75	
В	3,50	7,7	4,88	13,2	5,00	5,41
А	3,12		3,31		—	
В	4,81	54,16	5,10	54,38	—	—

Как видно из табл. 2, содержание нуклеиновых кислот околоушных желез увеличивалось до ДНК от 7,7 до 54,16%, а в среднем на 25,83%; по РНК от 9,0 до 54,38%, а в среднем на 24,02%. Увеличение содержания нуклеиновых кислот в подчелюстной железе колебалось в пределах 5—7%.

Содержание же нуклеиновых кислот в слюнных железах при секреции, вызванной условно-рефлекторным путем, оставалось неизменным, если сначала вырабатывался условный рефлекс на автоматический раздражитель, затем вырезались контрольные железы на одной стороне тела и затем уже этот условный рефлекс подкреплялся и через определенное количество дней после опыта вырезались железы на другой стороне тела.

Сопоставляя ранее полученные данные с данными настоящего исследования, можно сделать вывод, что изменение нуклеиновых кислот в слюнных железах собаки происходит не только в процессе слюноотделе-

ния, вызванного действием химических агентов или раздражением секреторных нервов, но и слюноотделения, вызванного нервно-рефлекторным путем. При безусловно-условном раздражении идет накопление секретирующих желез нуклеиновых кислот.

Институт биологической и медицинской химии
Академии медицинских наук СССР и
Педагогический институт им. В. И. Ленина

Поступило
14 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. А. Губерниев и И. Г. Ковырев, *Вопр. мед. хим.*, **1**, в. 1—2, 363 (1949). ² М. А. Губерниев, И. Г. Ковырев и М. Д. Родзиллер, *ДАН*, **76**, № 1, 101 (1951). ³ М. Губерниев и Л. И. Ильина, *ДАН*, **71**, № 2, 35 (1950). ⁴ М. А. Губерниев и Л. И. Ильина, *Тр. по применению радиоактивных изотопов в медицине*, М., 1953, стр. 242. ⁵ Г. Хевеши, *Радиоактивные индикаторы*, под ред. М. Н. Фотеевой, ИЛ, 1950, стр. 292. ⁶ Р. В. Хесин, *Усп. сов. биол.*, **31**, 1, 57 (1951). ⁷ F. Lipman, *Adv. Enzym.*, **6**, 231 (1946). ⁸ F. Lipman, *Federat. Proc.*, **8**, 597 (1949). ⁹ И. П. Павлов, *Баланс азота в слюнной и челюстной железе при работе (материалы к учению о восстановлении функционирующей железистой ткани)*. ¹⁰ W. C. Schneider, *J. Biol. Chem.*, **161**, 29 (1945). ¹¹ В. А. Крылов, *Сборн., посвящ. 75-летию акад. И. П. Павлова*, Госиздат, 1925, стр. 397.

И. Д. ИВАНОВ

ТОРМОЖЕНИЕ МОНО- И ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТИ КСАНТОГЕНАТАМИ

(Представлено академиком А. И. Опариным 22 II 1954)

Окислительные превращения моно- и полифенолов (фенола, пирокатехина, тирозина, диоксифенилаланина и др.) лежат в основе меланино-, адреналино- и тироксинообразования в организме. Участие медьсодержащих ферментов в двух последних процессах недостаточно изучено. Представляет интерес изучение роли медьсодержащих ферментов при различных паталогических состояниях: пигментных раковых опухолях (меланомах) ⁽¹⁾, гипертиреозизме ⁽²⁾ и др.

В качестве ингибиторов медьсодержащих ферментов обычно применяются соединения, содержащие группу $=C=S$: тиомочевина, фенил-тиомочевина, диэтилдитиокарбамат, а также вещества иной структуры — глутатион, цистеин, 2,3-дитиопропанол, салицилоксим ⁽³⁾ и каротин ⁽⁴⁾. Тиомочевина и тиоурацил применяются при лечении больных базедовой болезнью ⁽²⁾.

Целью настоящей работы является привести доказательства в пользу ингибирующего действия ксантогенатов — соединений с общей формулой:

$R-O-C \begin{array}{c} \parallel \\ S \end{array} M$ (где R — этил, бутил, изоамил и бензил, а M — металл: калий или натрий).

Ингибирующее действие этилксантогената калия испытывалось при различных значениях pH. Остальные ксантогенаты изучались для того, чтобы проследить ингибирующий эффект некоторых высших гомологов этого ряда соединений. Опыты проводились хронометрически.

Бутил-, изоамил- и бензилксантогенаты синтезированы нами по общему методу синтеза этилксантогената калия ⁽⁵⁾. Последний применялся как готовый препарат фирмы «Мерк». Полученные нами препараты были однократно перекристаллизованы бензолом из ацетонового раствора.

Ферментный препарат получался из поверхностного слоя картофельного клубня, который снимался деревянным ножом. 20 г нарезанного картофеля растирались в ступке и к ним добавлялось 20 мл воды. Через 30 мин. экстракт фильтровался через марлю и центрифугировался. К 1 мл центрифугата добавлялось по 3 мл ацетона и образовавшийся осадок растворялся в 20 мл воды. В таком виде ферментный раствор (основной раствор) разбавлялся непосредственно перед употреблением, в зависимости от каталитической активности препарата. Для этого мы подбирали такое разведение ферментного раствора, при котором появление о-хинонов после добавления аскорбиновой кислоты обнаруживалось на 35—37 минуте для монофенолоксидазной и на 5 минуте для полифенолоксидазной активности. Обыкновенно разведение основного раствора дистиллированной водой было в пределах до 1 : 1,5 и реже 1 : 3.

Все реактивы готовились на фосфатно-цитратной буферной смеси при рН 6,4; 6,8 и 7,2. Первоначальная концентрация ксантогенатов была $1 \cdot 10^{-2}$ М, пирокатехина $0,5 \cdot 10^{-3}$ М, фенола $1 \cdot 10^{-2}$ М и витамина С $0,6 \cdot 10^{-3}$ М.

Для лучшей аэрации использовался качающий механизм и колбы емкостью 200 мл.

Состав проб: 0,5 мл соответствующего раствора ксантогената, 3,5 мл фосфатно-цитратной буферной смеси с вышеуказанным рН и 1,0 мл раствора ферментного препарата. Ингибитор в активной пробе заменялся

соответствующим объемом буфера. Параллельно составлялась контрольная проба с добавлением фермента, инактивированного нагреванием. Конечная концентрация ксантогенатов в реактивной смеси равнялась $1 \cdot 10^{-3}$ М.

После инкубации фермента ингибитором при 37° в течение 30 мин., остаточная ферментная активность испытывалась при добавлении 5 мл аскорбиновой кислоты и 5 мл раствора пирокатехина или фенола. Сразу после добавления субстрата, по 1 мл реактивной смеси переносилось в пробирки, содержащие по 1 мл 1 N HCl и 0,1 мл 0,25% раствора крахмала. Такие же пробы брались через определенные промежутки времени (см. рис. 1 и 2).

Результаты определялись числом миллилитров 0,002 N раствора иода, пошедшего на титрование аскорбиновой кислоты. Остаточная ферментная активность (X) рассчитывалась по формуле $X = \frac{100 \cdot K - I}{K - A}$, где K — инак-

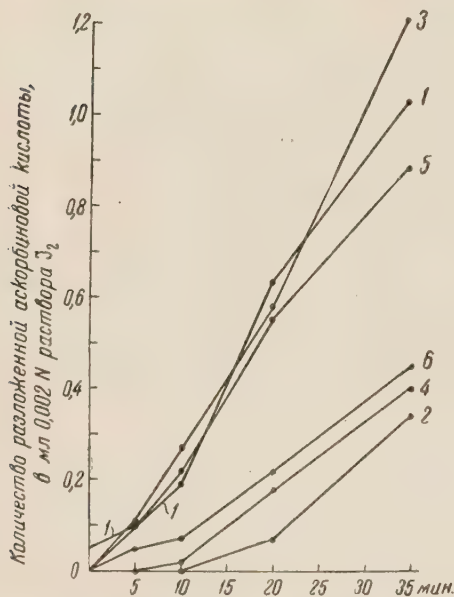


Рис. 1. Торможение монофенолоксидазной активности этилксантогенатом ($1 \cdot 10^{-3}$ М). 1 — фенол, рН 6,4; 2 — фенол + экг, рН 6,4; 3 — фенол, рН 6,8; 4 — фенол + экг, рН 6,8; 5 — фенол, рН 7,2; 6 — фенол + экг, рН 7,2

тивированный нагреванием контроль, I — проба, содержащая ингибитор и A — активная проба. Ингибирующий эффект находится по разности $100 - X$.

В первой серии опытов была поставлена задача выяснить, во-первых величину ингибирующего эффекта этилксантогената при концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ М и, во-вторых, проследить влияние концентрации водородных ионов на ингибирующий эффект этого вещества.

Данные, полученные из 5 опытов для моно- и из 6 опытов — для полифенолоксидазной активности, графически представлены на рис. 1 и 2.

Из графиков рис. 1 и 2 видно, что на 35-й минуте для моно- и на 5-й минуте для полифенолоксидазной реакции ингибирующий эффект этилксантогената изменяется в зависимости от рН среды. Так, например ингибирующий эффект для монофенолоксидазной активности при рН 6,4 равняется 66,7%, при рН 6,8 — 66,7% и при рН 7,2 — 48%. При тех же значениях рН для полифенолоксидазной активности ингибирующий эффект доходит соответственно до 81,6; 71,4 и 43,6%. Задержка полифенолоксидазной реакции этилксантогенатом при рН 7,2 падает чувствительнее, чем при монофенолоксидазной реакции (около 50%). То, что подщелачивание среды влияет лишь на ингибирующую способность этилксантогената, видно еще из того, что полифенолоксидазная активность

при pH 7,2 остается такой же, как и при pH 6,4 и 6,8 (см. кривые 1, 3 и 5 на рис. 2). При монофенолоксидазной реакции, однако, подщелачивание среды влияет и на ферментную активность. Это объясняется тем, что монофенолоксидазное действие проявляется оптимально при pH 6,8 (см. кривую 3 на рис. 1), в то время как оптимальное pH для полифе-

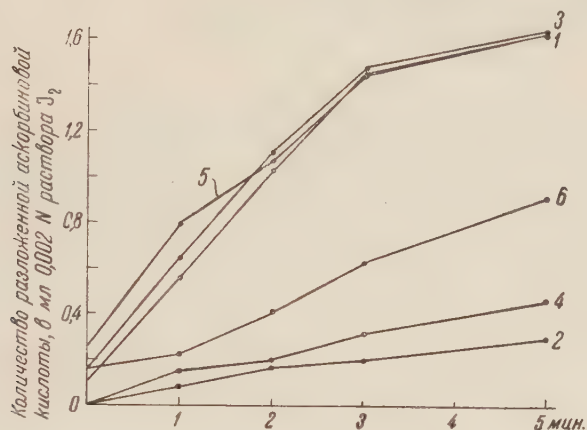


Рис. 2. Торможение полифенолоксидазной активности этилксантогенатом ($1 \cdot 10^{-3} M$). 1 — пирокатехин, pH 6,4; 2 — пирокатехин + экг, pH 6,4; 3 — пирокатехин, pH 6,8; 4 — пирокатехин + экг, pH 6,8; 5 — пирокатехин, pH 7,2; 6 — пирокатехин + экг, pH 7,2

олозной активности переходит в слабощелочную сторону и диапазон оптимальных значений pH шире, чем при монофенолоксидазной реакции.

Целью следующих опытов являлось показать ингибирующий эффект некоторых высших гомологов ксантогенатов при pH 7,2. Мы остановились на алифатических ксантогенах: бутил- и изоамилксантогенатах из ароматических на бензилксантогенате.

Суммарные результаты из 3 опытов для моно- и из 3 опытов для олифенолоксидазной активности представлены графически на рис. 3.

К концу полифенолоксидазной реакции ингибирующий эффект бутилксантогената равняется 86,8%, для изоамилксантогената 86,2% и для бензилксантогената 79,2%. При монофенолоксидазной реакции тот же эффект равняется для бутилксантогената 95,3%, для изоамилксантогената 91,6% и для бензилксантогената 100%.

Если сравнить данные рис. 3 с теми, которые приведены на рис. 1

2 для опытов, проведенных при pH 7,2, можно заметить, что ингибирующий эффект этилксантогената на 50% ниже, чем эффект торможения бутил-, изоамил- и бензилксантогенатов.

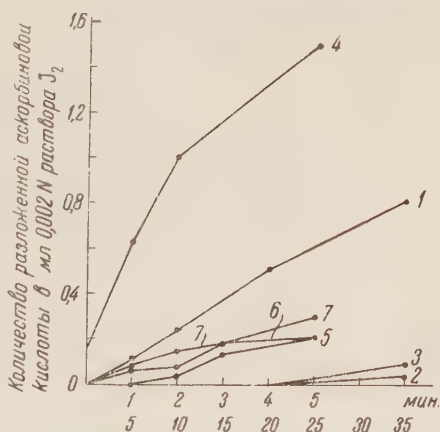


Рис. 3. Торможение моно- и полифенолоксидазной активности ксантогенатами ($1 \cdot 10^{-3} M$), pH 7,2. 1 — фенол; 2 — фенол + бутилксантогенат; 3 — фенол + изоамилксантогенат; 4 — пирокатехин; 5 — пирокатехин + бутилксантогенат; 6 — пирокатехин + изоамилксантогенат; 7 — пирокатехин + бензилксантогенат

Вообще, на основании полученных данных можно считать доказанным, что ксантогенаты являются сильными ингибиторами для активности медьсодержащих ферментов.

Вопрос о специфичности ксантогенатов как ингибиторов медьсодержащих ферментов остается открытым.

Республиканский научно-исследовательский институт
по гематологии и переливанию крови
София, Болгария

Поступило
18 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Дж. Гринштейн, Биохимия рака, ИЛ, 1951. ² А. Т. Камерон, Достижения современной эндокринологии, ИЛ, 1948. ³ А. О. Войнар, Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека, 1953. ⁴ С. Д. Балховский, Н. Н. Дроздов и В. Н. Федорова, ДАН, 87, 453 (1952). ⁵ Л. М. Кульберг, Синтезы органических реактивов, 1947.

И. Л. КАГАНОВА и действительный член Академии медицинских наук СССР
В. Н. ОРЕХОВИЧ

О СИНТЕЗЕ ПЕПТИДОВ ХИМОТРИПСИНОМ

В ряде статей, опубликованных за последние несколько лет в различных журналах (¹⁻⁹), описаны результаты исследований, касающихся синтеза пептидных связей и удлинения цепей пептидов при помощи протеолитических ферментов разного происхождения (химотрипсин, папаин, калпсин селезенки). Упомянутые работы могут иметь существенное значение для расшифровки механизма синтеза белков и пептидов в организме.

Различными исследователями были синтезированы ферментативным путем пептиды и эфиры пептидов из эфиров ряда аминокислот. Мы в своей работе использовали в качестве субстрата тирогидрат этилового эфира тирозина, а в качестве фермента — химотрипсин. Акцепторами тирозина в наших опытах были различные аминокислоты и неасцепляющиеся химотрипсином амиды, пептиды и эфиры аминокислот.

Опыты проводились в следующих условиях. Смесь, подвергавшаяся инкубации, состояла из 1% водного раствора эфира тирозина и 2—6% растворов других добавляемых веществ (амидов, пептидов и т. д.) и 1—1,5 мг кристаллического химотрипсина. Общий объем пробы 0,25—0,5 мл, pH среды 6,8 до 9,5. Пробы инкубировались в термостате при температуре 25—37° от 10 мин. до 2 час. По истечении указанного времени химотрипсин в пробах инактивировался. О синтезе пептидов мы судили по появлению новых пятен на хроматограммах и на основании данных о составе вновь появившихся соединений. В качестве растворителей при хроматографировании нами были использованы 80% раствор изопропилового спирта и смесь бутанола, уксусной кислоты и воды (75 : 7 : 18).

В первой серии опытов мы инкубировали эфир тирозина с химотрипсином без каких-либо добавок. Уже через 10 мин. после начала инкубации на хроматограмме было обнаружено новое пятно (см. рис. 1, пятно 3). Это пятно становилось все более интенсивным по мере удлинения времени инкубации указанной выше пробы. Вместе с тем пятно, образованное эфиром тирозина (пятно 2), постепенно уменьшалось и на хроматограмме пробы, подвергнутой 4-часовой инкубации, было еле заметным. В процессе инкубации увеличивалось и количество свободного тирозина в пробе, что можно было наблюдать по увеличению интенсивности пятна 1.

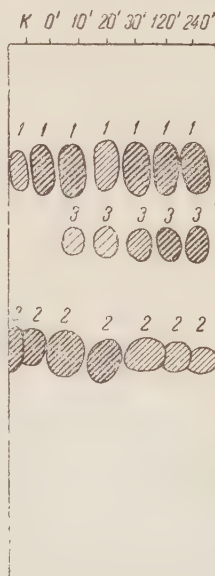


Рис. 1. Хроматограмма опыта с эфиром тирозина. Время инкубации разное, температура инкубации 24°, pH 7,3. 1 — тирозин; 2 — эфир тирозина; 3 — пептид тирозина (1)

Описанные выше опыты проводились при рН среды 7—7,3. В случаях, когда среда была более щелочной (рН 8—9,5), в пробах обнаруживалось еще одно новое соединение, которое на хроматограммах появилось в виде второго нового пятна (см. рис. 2, пятно 4). В контрольных пробах, в которых содержался эфир тирозина без химотрипсина и с инактивированным химотрипсином, никаких новых пятен на хроматограммах не появлялось. Не появлялось новых пятен на хроматограммах и при инкубации с химотрипсином свободного тирозина. Вновь синтезированные соединения, о которых мы писали выше, экстрагировались бумагой и гидролизовались соляной кислотой (6 *N*) в течение 24 ч.

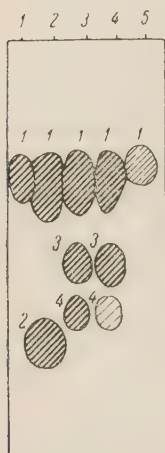


Рис. 2. Хроматограмма опыта с эфиром тирозина. Время инкубации 4 часа, температура инкубации 25°, рН 9. 1 — тирозин; 2 — эфир тирозина; 3 — пептид тирозина (1); 4 — пептид тирозина (2)

В гидролизатах был обнаружен тирозин. Можно предполагать, что соединения, образующиеся в результате инкубации эфира тирозина с химотрипсином, представляют собой дипептид и трипептид тирозина и эфиры этих пептидов.

В ряде других опытов в качестве акцепторов тирозина были испытаны следующие вещества: аспарагин, аспарагическая кислота, глутаминовая кислота, глицин, лейцин, аспарагин, глутамин, лейцилглицин, лейцилглицилглицин, глицилглицин, глицилтирозин, глицилтриптофан, этиловый эфир глицина, изопропиловый эфир норлейцина.

В процессе инкубации эфира тирозина с аспарагином в присутствии химотрипсина образовалось новое соединение, что можно было установить по появлению нового пятна на хроматограммах. После гидролиза этого соединения, экстрагированного из бумаги, в гидролизате были обнаружены тирозин и аспарагическая кислота. Синтез нового пептида при инкубации эфира тирозина с глутамином идет гораздо хуже, так как вновь появляющееся пятно пептида очень слабое. При инкубации смесей химотрипсина, эфира тирозина, глутаминовой и аспарагиновой кислот синтез пептида не наблюдался.

Очень быстро осуществлялся синтез новых пептидов в тех случаях, когда в качестве акцепторов были использованы лейцилглицин, лейцилглицилглицин, также изопропиловый эфир норлейцина. При инкубации

смеси указанных выше пептидов с эфиром тирозина и химотрипсином синтезировались пептиды, о чем можно было судить по появлению на хроматограммах новых пятен (см. рис. 3). В опытах с лейцилглицином новый пептид проявился в виде пятна 18 на хроматограмме; в пробе лейцилглицилглицином — пятна 16 и в пробе с эфиром норлейцина — пятна 20. Эти пептиды после хроматографирования на бумаге экстрагировались и затем подвергались гидролизу. В пробах, в которых в качестве акцептора тирозина был использован лейцилглицин, вновь синтезированный пептид состоял из тирозина, глицина и лейцина. Те же аминокислоты были обнаружены в пептиде, полученном при инкубации эфира тирозина с лейцилглицилглицином. В пептиде, синтезированном при участии эфира норлейцина, были обнаружены тирозин и норлейцин.

В пептиде, который был синтезирован в опытах с лейцилглицилглицином в качестве акцептора тирозина, определялась концевая аминокислота аминного конца пептида при помощи фтординитробензола по методу Сангера (10). Оказалось, что концевой аминокислотой является аминогруппа тирозина. Так как лейцилглицилглицин химотрипсином не расщепляется, то из наших данных следует, что новый пептид является тетрапептидом — тирозиллейцилглицилглицином. Надо думать, что другие два новых пептида являются тирозиллейцилглицином и эфиром д

пептида тирозилнорлейцина. В отсутствие химотрипсина синтез указанных выше пептидов не наблюдался. Не наблюдался синтез пептидов и в тех случаях, когда к смеси химотрипсина и эфира тирозина добавлялись пептиды лейцина, а свободный лейцин.

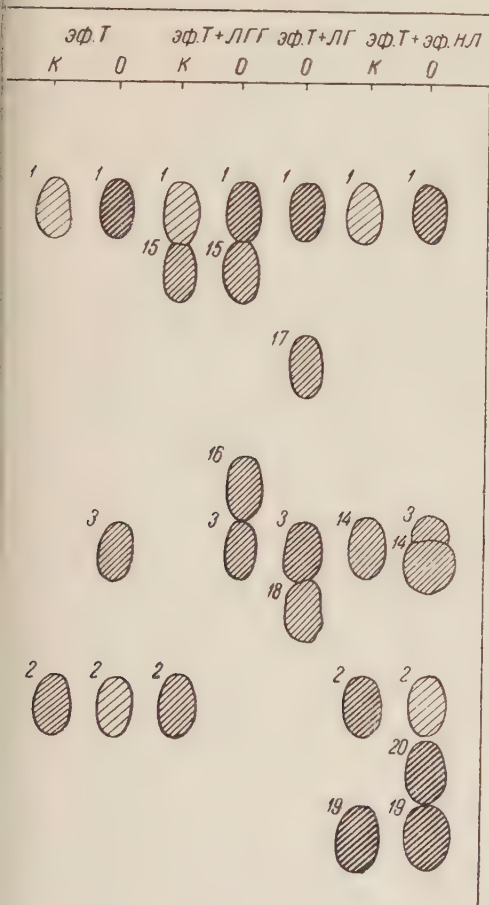


Рис. 3. Хроматограмма опытов с эфиром тирозина и производными лейцина. В опыте эфиром тирозина и лейцилглицилглицином время инкубации 2,5 часа, температура инкубации 28°, pH проб 9. В опытах эфиром тирозина и лейцилглицином, также с эфиром норлейцина время инкубации 2 часа, температура инкубации 32°, pH 9. 1 — тирозин; 2 — эфир тирозина; 3 — пептид тирозина; 14 — норлейцин; 15 — лейцилглицилглицин; 16 — тирозиллейцилглицин; 17 — лейцилглицин; 18 — тирозиллейцилглицин; 19 — эфир норлейцина; 20 — эфир тирозилнорлейцина. К — пробы без фермента; О — пробы с ферментом; Т — эфир тирозина; ЛГГ — лейцилглицин; ЛГ — лейцилглицин; эф. НЛ — эфир норлейцина

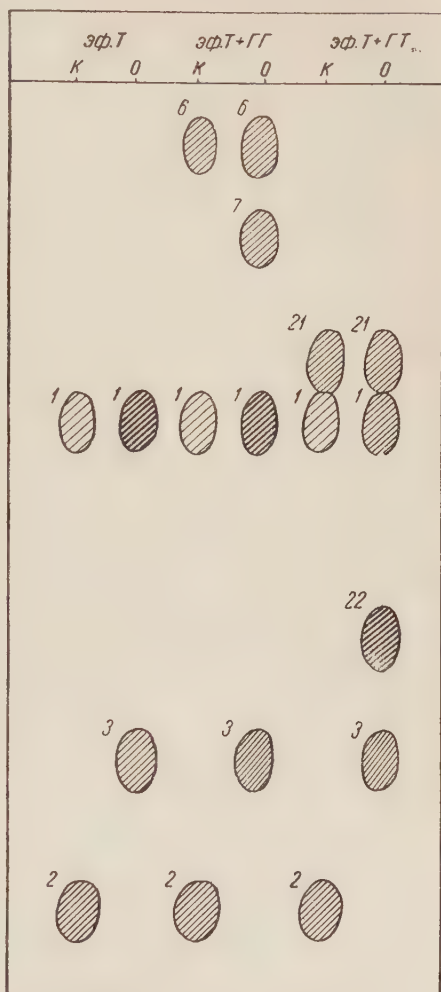


Рис. 4. Хроматограмма опытов с эфиром тирозина и пептидами глицина. В опыте с эфиром тирозина и глицилглицином время инкубации 2 часа, температура инкубации 27°, pH 9. В опыте с эфиром тирозина и глицилтирозином время инкубации 2 часа, температура инкубации 35°, pH 7,6. 1 — тирозин; 2 — эфир тирозина; 3 — пептид тирозина; 6 — глицилглицин; 7 — тирозилглицилглицин; 21 — глицилтирозин; 22 — тирозилглицилтирозин. К — пробы без фермента; О — пробы с ферментом; эф. Т — эфир тирозина; ГГ — глицилглицин; ГТ — глицилтирозин

В одной из серий опытов в качестве акцептора тирозина были использованы глицилглицин и глицилтирозин. При инкубации химотрипсина с

эфиром тирозина и глицилглицином синтезировался пептид, образование которого в смеси можно было установить по появлению на хроматограме нового пятна (см. рис. 4, пятно 7), расположенного между пятном глицилглицина (пятно 6) и пятном тирозина (пятно 1). При pH 9 синтез этого пептида осуществлялся более интенсивно. Новый пептид экстрагировался из бумаги и гидролизировался. В гидролизате были обнаружены тирозин и глицин. При помощи метода Сангера было установлено, что концем аминокислотной группы является аминокислота тирозина. Из этого следует, что синтезированный пептид представляет собой трипептид — тирозилглицилглицин.

Так же интенсивно протекал синтез нового пептида из эфира тирозина и глицилтирозина. Во вновь синтезированном пептиде (рис. 4, пятно 8) после гидролиза были обнаружены тирозин и глицин. Повидимому, этот пептид является трипептидом — тирозилглицилтирозином.

Синтез новых пептидов не наблюдался в опытах, в которых в качестве акцептора были использованы глицилтриптофан, эфир глицина и свободный глицин.

Как видно из приведенных данных, свободные аминокислоты (глютаминовая, аспарагиновая, глицин, лейцин) не используются для образования пептидов, синтезируемых химотрипсином в описанных нами условиях. В то же время их амиды, пептиды и эфиры являются хорошими акцепторами для тирозина. Эти данные согласуются с некоторыми наблюдениями, касающимися специфичности протеолитического действия химотрипсина. Как известно, этот фермент не действует на пептидную связь, находящуюся вблизи свободной карбоксильной группы (11).

Из наших опытов следует, что для синтетического действия химотрипсина необходимо блокировать упомянутую выше свободную карбоксильную группу акцептора. Однако природа замещающей группы, повидимому, не безразлична для активности химотрипсина. Достаточно отметить, что в то время как синтез новых пептидов с глицилглицином и глицилтирозином протекает весьма эффективно, реакция с глицилтриптофаном и эфиром глицина в этих же условиях не осуществляется.

Во всех проведенных нами опытах мы наблюдали интенсивный гидролиз этилового эфира тирозина химотрипсином. Наряду с гидролизом эфира тирозина, в инкубируемой пробе протекал синтез различных пептидов, заключающийся в переносе тирозилового остатка эфира тирозина на другую молекулу эфира тирозина или на молекулу какого-либо другого эфира, пептида или амида (если таковые содержались в пробе). При изучении химического состава пептидов выяснилось, что тирозин находится на аминном конце пептида («карбоксильный» перенос).

Быстрота, с которой протекал синтез различных пептидов, и участие в реакции разнообразных соединений дают некоторое основание говорить о существенном биологическом значении этой реакции.

Институт биологической и медицинской химии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
25 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. B. Johnston, Mary J. Mycek, J. S. Fruton, J. Biol. Chem., **185**, 6 (1950). ² R. B. Johnston, Mary J. Mycek, J. S. Fruton, *ibid.*, **187**, 2 (1950). ³ J. S. Fruton, R. B. Johnston, M. Fried, *ibid.*, **190**, 39 (1951). ⁴ M. E. Jones, W. R. Hearn, *et al.*, *ibid.*, **195**, 645 (1952). ⁵ J. S. Fruton, Symposium Biogen. Proteines, 1952, p. 5. ⁶ J. S. Fruton, W. R. Hearn, *et al.*, J. Biol. Chem., **204**, 891 (1953). ⁷ M. Brenner, H. R. Müller, R. W. Pfister, Helv. Chim. Acta, **33**, 568 (1950). ⁸ M. Brenner, E. Sailer, K. Rüfenacht, *ibid.*, **34**, 2098 (1951). ⁹ H. Tauber, J. Am. Chem. Soc., **74**, 847 (1952). ¹⁰ F. Sanger, Biochem. J., **39**, 507 (1945). ¹¹ H. Neurath, G. Schwert, Chem. Rev., **46**, 69 (1950).

Б. Н. СТЕПАНЕНКО и А. С. КАЙНОВА

ИЗУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГЛИКОГЕНОВ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 28 I 1954)

В ранее опубликованном исследовании ⁽¹⁾ мы (совместно с А. Н. Петровой) разработали метод препаративного получения гликогенов путем ферментативного синтеза *in vitro* при помощи двух мышечных ферментов: фосфорилазы и фермента ИА (изомеразы амилозы) и получили ряд препаратов синтетических гликогенов.

Большой интерес представляло их изучение, поскольку синтетические гликогены никогда ранее не изучались (в отличие от синтетических амилоз), тогда как их исследование и сравнение с «природными» гликогенами могло бы служить серьезной проверкой наших современных знаний о биосинтезе гликогена.

Мы исследовали четыре синтетических препарата гликогена (№№ 1—4) и для сравнения два природных, служивших при синтезе в качестве затравки ⁽¹⁾. Из синтетических гликогенов три препарата (№№ 1—3) были получены по первому варианту нашего метода. Ход синтеза указанных выше препаратов синтетических гликогенов имел, кроме того, следующие особенности. При синтезе препарата № 1 (выделенного в количестве 500 мг) фермент ИА действовал сравнительно медленно (повидимому, в связи с сезонным понижением активности) и синтез его продолжался 32 часа (вместо обычных 16 час. и менее). При получении препарата № 2 (выделенного в количестве 300 мг) ИА действовала несколько активнее, но синтез продолжался также 32 часа. Синтез препарата № 3 (выделенного в количестве 340 мг) характеризовался большой активностью ИА и продолжался 16 час.

Препарат № 4 был получен по второму варианту метода, путем систематического «выращивания» затравки в течение нескольких (четырех) циклов (выделен в количестве 450 мг).

Все препараты (синтетические и природные — затравочные) после соответствующей очистки были проанализированы на содержание полисахарида, влаги, фосфора и азота.

Синтетические препараты содержали 89—93,4% полисахарида, 4—6,2% воды, менее 0,1% фосфора, около 0,1% азота. По всем аналитическим данным препараты синтетических гликогенов были близки к природным, отличаясь лишь несколько большим, указанным выше, количеством азота.

Исследования гликогенов состояли из: 1) определения молекулярных весов; 2) определения расщепляемости β -амилазой; 3) снятия кривых абсорбции соединений гликогенов с иодом; 4) определения «единицы цепи» — величины, обратной «степени ветвления» ⁽²⁾.

Определение молекулярных весов гликогенов проводилось по методу Мейера ⁽³⁾ (уже применявшемуся для определения молекулярных весов гликогенов ⁽⁴⁾), а также по новому методу. Метод Мейера мы несколько изменили путем использования всей жидкости для фотометрирования и другими приемами, что дало возможность брать на-

вески гликогенов для определения молекулярного веса порядка 120–160 мг (вместо 200–250 мг). Результаты, полученные на ряде природных гликогенов при помощи нашей модификации метода Мейера и одновременно по оригинальной методике Мейера, дали хорошее совпадение.

Таблица 1

Результаты определения молекулярных весов природных и синтетических гликогенов

Препарат гликогена	Молекулярный вес	
	по методу Мейера	по новому методу
Печени кролика от 20 III 1952 г.	217 000	230 000
То же от 1 XI 1951 г.	273 000	273 000
„ „ от 5 IV 1951 г. (затравка № 1)	461 000	509 000
Мышц кролика от 10 VI 1951 г. (затравка № 2)	189 000	153 000
Синтетический № 1	177 000	206 000
„ „ № 2	—	108 000
„ „ № 3	—	304 000
„ „ № 4	227 000	220 000

дуцирующей способности малых количеств мальтозы нам пришлось составить таблицу, подобную используемой при методе Хагедорна — Иенсена для глюкозы). Новый метод дал нам возможность брать для определения молекулярного веса гликогена навески 30–50 мг и заменять фотометрирование, применяемое К. Мейером, титрованием.

В табл. 1 мы приводим значения молекулярных весов синтетических и некоторых природных, в том числе «затравочных» гликогенов, полученных по методу Мейера и по новому методу.

Величины молекулярных весов, найденные по методу Мейера и новому методу, достаточно близки, особенно принимая во внимание обычные большие колебания этих значений при определении молекулярных весов высокополимеров различными методами. Из таблицы следует также, что молекулярные веса синтетических гликогенов и природных являются величинами одного порядка.

Определение расщепляемости синтетических гликогенов β -амилазой. Необходимую для работы β -амилазу мы получили из соевой муки (5). Фермент очищали от α -амилазы и в течение 7–10 дней проверяли на отсутствие α -амилазы, после чего применяли в опытах. Определение расщепляемости гликогенов производилось при применении 1% растворов этих полисахаридов в ацетатном буфере. Во всех случаях повторными пробами устанавливалась полнота расщепления. Результаты определения расщепляемости синтетических и затравочных гликогенов представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, расщепляемость синтетических гликогенов β -амилазой очень близка к таковой природных гликогенов.

Таблица 2

Расщепляемость синтетических и «затравочных» гликогенов β -амилазой

Препарат гликогена	Расщепляемость β -амилазой (в %)	
	I определение	II определение
Синтетический № 1	36,3	38,4
„ „ № 2	34,1	34,6
„ „ № 3	39,9	38,0
„ „ № 4	37,6	38,9
„ Затравочный № 1	37,1	38,0
„ „ № 2	39,9	39,7

Абсорбционные кривые соединений с иодом синтетических и «затравочных» гликогенов снимались по (6). Для сравнения снималась также кривая соединения картофеля́льного амилопектина с иодом. В табл. 3 приведены основные данные, характеризующие полученные кривые, а на рис. 1 — кривые синтетических иодгликогенов №№ 2 и 3 в сравнении с затравочными гликогенами и с амилопектином.

Как видно из приведенных данных, по единице цепи синтетические гликогены близки природным и существенно отличаются от амилопектинов. Сопоставление иодных кривых с данными о строении синтетических гликогенов (см. ниже) дают новый материал о связи иодной реакции со строением полисахаридов типа гликогена (эти данные будут опубликованы в другом месте).

Определение единицы цепи синтетических и «затравочных» гликогенов (т. е. определение соотношения общего числа глюкозных остатков в молекуле к числу концевых неальдегидных групп) проводилось методом периодатного окисления по (7). В табл. 4 приведены полученные результаты.

Как видно из данных табл. 4, так же как и из предыдущих, синтетические гликогены близки природным гликогенам кролика.

Полученные данные дали нам возможность рассчитать среднюю длину наружных ветвей молекул синтетических гликогенов, среднюю длину внутренних ветвей и «сконструировать» схемы строения «средних молекул» полученных гликогенов, подобно тому как это сделано одним из нас в работе с Е. М. Афанасьевой (4). Сравнение строения синтетических гликогенов с исходными затравочными и между собой показывает, что

наиболее близким природному затравочному гликогену, практически тождественным ему, является синтетический гликоген № 3.

Синтетический гликоген № 1 по единице цепи несколько сходен с амилопектинами, хотя все же остается гликогеном: он сходен с гликогенами по другим признакам; кроме того, известны природные гликогены, полученные от животных при особых режимах питания с единицей цепи 9—23 (8).

Синтетические гликогены №№ 1 и 2 очень интересны тем, что их средние внутренние цепи равны или даже несколько длиннее наружных.

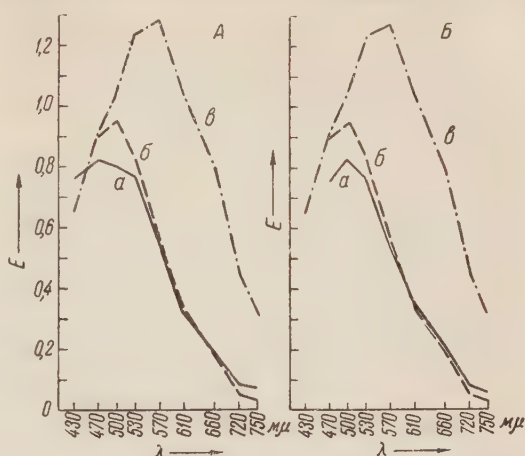


Рис. 1. Абсорбционные кривые: А — препарат № 2; Б — препарат № 3. а — синтетический гликоген, б — гликоген затравки, в — амилопектин с иодом

Таблица 3

Характеристика абсорбционных кривых соединений с иодом синтетических и затравочных гликогенов и амилопектинов

Соединение с иодом	Положение абсорбционного максимума, в мμ	Экстинкция в точке максимума
синтетического гликогена № 1	530	1,00
„ „ № 2	500	0,80
„ „ № 3	500	0,82
„ „ № 4	530	0,86
затравочного гликогена № 1	500	0,95
„ „ № 2	500	0,70
амилопектина	570	1,30

Природные гликогены с такими особенностями строения не были известны. Гликогены №№ 1 и 2 по типу строения приближаются к β -декстринам

Таблица 4

Единица цепи синтетических и
затравочных гликогенов

Препарат	Единица цепи		
	I опреде- ление	II опреде- ление	III опреде- ление
Синтетический гликоген № 1	23	22	22,4
" № 2	17,1	17,3	—
" № 3	15,6	16,2	—
" № 4	16,9	16,6	—
„Затравочный“ гликоген № 1	15,4	15,0	15,4
" № 2	12,4	12,8	—

родным (гликоген № 3), так и немного отличающиеся от них и несколько приближающиеся к амилопектинам (гликоген № 1), а также гликогены с несколько укороченными наружными ветвями — типа β -декстринов (или ф-декстринов).

или ф-декстринам (полученным при действии фосфорилазы) с несколько укороченными или «недостроенными» наружными ветвями.

Отмеченные особенности строения синтетических гликогенов обусловлены упомянутыми особенностями хода их синтеза (стр. 1263).

Таким образом, изменяя соотношение активности ферментов и другие условия (например, продолжительность синтеза), мы смогли получить *in vitro* синтетические гликогены как практически тождественные при-

Поступило
27 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. С. Кайнова, Б. Н. Степаненко, А. Н. Петрова, ДАН, **95**, № (1954).
- ² Б. Н. Степаненко, А. Н. Петрова, Е. Л. Розенфельд, А. В. Костельникова, Усп. совр. биол., **32**, в. 2 (5), 193 (1954).
- ³ К. Мейер, J. Phys. Coll. Chem., **53**, 319 (1949).
- ⁴ Б. Н. Степаненко, Е. М. Афанасьева, ДАН, **90**, 1095 (1953).
- ⁵ E. J. Bourne, F. Reat, J. Chem. Soc. **1945**, 879, 1949, 1712.
- ⁶ Б. Н. Степаненко, Е. М. Афанасьева, Биохимия, **12**, 111 (1947).
- ⁷ A. Potter, W. Z. Hassid, J. Am. Chem. Soc., **70**, 3488, 3774 (1948).
- ⁸ M. Schlamowitz, J. Biol. Chem., **190**, 519 (1951).

В. ФИЛИППОВ и М. ИЛЬИНА

СОСТОЯНИЕ БИОТИНА В РАСТИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

(Представлено академиком А. И. Опарным 22 II 1954)

Биотин или витамин Н относится к физиологически активным веществам сильного действия. Знания биохимии биотина крайне ограничены, хотя это соединение широко распространено в мире растений и животных. Наши исследования направлены на выяснение состояния биотина в растении и распределения его по различным органам.

В растительной клетке биотин находится в свободном и связанном состоянии. Свободный биотин извлекается водой; связанный биотин прочно присоединен к белку и отделяется от него под воздействием кислот, щелочей и ферментов ⁽¹⁾. В более поздних работах ⁽⁵⁻⁸⁾ подтверждается факт связывания биотина белком, но указывается, что у растений соединяется с белком лишь незначительная часть биотина. В животных тканях основная часть биотина связана с белком и связь является более прочной.

Для определения биотина мы применяли дрожжевой метод ^(3, 9, 10). Биотин извлекался из исследуемого материала автоклавированием с 1 N серной кислотой при 115° в течение 3 час. ⁽⁴⁾. Через каждый час автоклавирование прерывалось, вытяжка отфильтровывалась и заменялась новой порцией серной кислоты (10—12 мл кислоты на 1 г воздушно-сухого материала). Три порции вытяжки объединялись, объем их доводился до 50 мл. Вытяжку можно хранить на холоду несколько недель и использовать по частям. Серная кислота удалялась из вытяжки едким барием непосредственно перед каждым определением биотина. Вытяжка из исследуемого материала вносится по 1 мл в пробирки. Одновременно в ряд пробирок вносится по 1 мл раствора, содержащего 0,5; 0,40; 0,30; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10; 0,05; 0,00 мμ биотина. Пробирки стерилизуются в автоклаве при 105° в течение 20 мин.

Состав питательной среды для дрожжей: $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1,0 г; $(NH_4)_2SO_4$ 3,0 г; KH_2PO_4 2,5 г; аспарагин 1,0 г; сахароза 20 г; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 1,0 мг; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0,1 мг; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,85 мг; тиамин 4 мг; инозит 10 мг; пантотенат кальция 0,5 мг; пиродоксин 1,0 мг; воды дистиллированной до 850 мл. Среда, помещенная в колбу, стерилизуется описанным выше способом. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* 77 (культура на сусло-агаре) вносятся в среду в количестве 2—10 мг сухого вещества на 1 л среды. После встряхивания дрожжевая суспензия вносится в пробирки с исследуемым материалом и биотином по 5 мл в каждую. Повторность 5-кратная. Инкубация 16—24 часа. Рост дрожжей определяется фотоэлектрическим колориметром. Из показаний роста дрожжей в пробирках с биотином строится кривая, по которой определяется содержание биотина в опытных пробирках. Максимальный рост дрожжей наблюдается обычно при внесении 3—4 мμ биотина в пробирку, полумаксимальный рост — при внесении 0,1—0,2 мμ биотина. Содержание биотина в опытных пробирках должно быть близким к полумаксимуму.

Цитрат натрия 1 г/л в качестве буфера ускоряет максимальный рост на 10—12%, а полумаксимальный на 2—3%, что позволяет отказаться от применения буфера. Усиление аэрации питательной среды путем встряхивания пробирок ускоряло рост на 30—35% в пределах полумаксимума и максимума. В течение инкубации достаточно 4—5 встряхиваний по 5—10 сек.

Таблица 1

Определение биотина в полной питательной среде и при недостатке витаминов

Тест-организм	Обнаружено биотина в мμ		% обнаружения синтетического биотина
	картофель- ный сок	картофельный сок + 0,1 мμ биотина	
При нормальном содержании витаминов			
<i>S. cerevisiae</i> 77	0,088	0,190	102
<i>S. ellipsoideus</i> 465 . . .	0,082	0,185	103
При содержании витаминов 20% от нормального			
<i>S. cerevisiae</i> 77	0,043	0,170	127
<i>S. ellipsoideus</i> 465 . . .	0,100	0,180	80

Важное значение имеет витаминная часть питательной среды, так как дрожжи нуждаются в комплексе физиологически активных веществ. Из табл. 1 видно, что точность определения биотина зависит от дозировок витаминов в питательной среде: при полной питательной среде при включении всех необходимых витаминов в надлежащей концентрации данные определения биотина лежат в допустимых при аналитической работе границах точности; снижение концентрации витаминов в питательной среде увеличивает ошибку определения. Различия в росте индикаторных организмов — *Saccharomyces cerevisiae* 77 и *S. ellipsoideus* 465 при полной питательной среде сглаживаются.

Таблица 2

Свободный и связанный биотин в проростках

Материал	Содержание биотина в вытяжке в мμ/мл			
	водная вытяжка	кислотные вытяжки		
		1N H ₂ SO ₄	2N H ₂ SO ₄	5N H ₂ SO ₄
Проростки пшеницы	58	250	255	170
Проростки кукурузы	78	118	118	117

Данные о низком содержании связанного биотина (7) в свежих вегетативных органах растений мы объясняем несовершенством применявшейся методики. Лампен (7) обнаруживал в кислотных вытяжках из свеклы, капусты, моркови, томатов, малины меньше биотина, чем в водных вытяжках. Извлечение биотина кислотой, повидимому, сопровождалось в данном случае его разрушением. Значительное содержание биотина в водной вытяжке объясняется тем, что извлечение водой проводилось под давлением, а это приводило к отщеплению от белка части связанного биотина.

Ниже мы приводим результаты опытов по установлению прочности связывания биотина с клеточными белками в 10-дневных проростках пшеницы и

кукурузы. Для этой цели мы произвели извлечение биотина водой и серной кислотой различной концентрации, считая, что свободный биотин извлекается водой при кипячении. Извлечение путем 30-минутного кипячения показывает, что в раствор переходит немного биотина. В 10-дневных проростках пшеницы и кукурузы большая часть его находится в связанном состоянии (табл. 2). Кислотные вытяжки готовились автоклавированием измельченных проростков с кислотой при 120° в течение 1 часа.

Автоклавирование с кислотой приводит к отщеплению связанного биотина и более полному его извлечению из материала. Эти результаты подтверждают и дополняют выводы, сделанные в связи с извлечением биотина водой, о преимущественном нахождении этого вещества в связанном состоянии. Кислота при высокой температуре, отщепляя биотин от белка, вызывает в то же время его частичное разрушение. Значительное содержание связанного биотина в листьях различных растений установил до этого В. Филиппов (2).

Таблица 3

Растения	Биотин мг/г	Растения	Биотин мг/г
Арахис, семена воздушно-сухие	1110	Мандарин, плодов. сок	46
Соя, семена воздушно-сухие	750	" корка свежая (без эндокарпия)	438
Горох, " " " "	244	Пшеница, хлеб	91
Пшеница, семена воздушно-сухие	216	" манная крупа	115
Грецкий орех, семена воздушно-сухие	222	Рис полированный	32
Кедр сибирский, семена воздушно-сухие	82	Картофель, крахмал	не обнаруж.
Огурец, свеж. плоды	21	Чай, черный	825
Лук, свеж. листья	64	Какао, в порошке	940
" луковица	21	Смородина черная, сушен. плоды	598
Чеснок, луковица	22	Вишня, сушен. плоды	239
Свекла, корень	19	Чернослив, сушен. плоды	42
		Миндаль, " "	569

Содержание биотина в продуктах растительного происхождения, входящих в состав пищи человека, изучено слабо. Имеющиеся в литературе скудные и рассеянные данные требуют значительных поправок, так как при выполнении анализов не всегда учитывались свойства биотина и его состояние в растении. Между тем, высокая физиологическая активность этого соединения и широкое распространение требуют количественных определений его в продуктах широкого потребления. Применяя описанную выше методику определения и полного извлечения, мы провели определение биотина в продуктах растительного происхождения.

Полученные данные (см. табл. 3) говорят о значительных различиях в содержании биотина даже у систематически родственных видов растений. Как правило, биотин сопутствует белку, концентрируясь в органах, богатых белком; мало биотина в органах, содержащих преимущественно углеводы.

Для биохимии биотина имеет значение установить зависимость между процессами образования белка и накопления биотина в тканях.

Хабаровский государственный
педагогический институт

Поступило
5 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ К. Сухоруков, Е. Клинг, Д. Клячко, ДАН, 1, 524 (1935). ² В. Филиппов, Тр. Инст. физиол. раст. им. К. А. Тимирязева, 7, 232 (1950). ³ В. Шопфер, Биохимия и физиология витаминов, сборн. 1, 1950. ⁴ А. Axelrod, K. Hof-

mann, J. Biol. Chem., **187**, 23 (1950). ⁵ L. Coro, G. Rindi, C. Casella, Abstracts commun. 1st Intern. Congr. Biochem., 1949, p. 31—32. ⁶ M. Ives, A. Pollard, C. Elvehjem, F. Strong, J. Nutrition, **31**, 347 (1946). ⁷ J. Lampen, G. Bahler, W. Peterson, *ibid.*, **23**, 11 (1942). ⁸ G. Shull, B. Hutchings, W. Peterson, J. Biol. Chem., **142**, 913 (1942). ⁹ E. Snell, R. Eakin, J. Williams, J. Am. Chem. Soc., **32**, 175 (1940). ¹⁰ J. White, D. Munns, J. Inst. Brewing, **56**, 141 (1950).

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И. Ф. КАНАВЕЦ

**О МЕХАНИЗМЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ
ПЛАСТИКОВ (ПРЕССМАТЕРИАЛОВ)**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 26 II 1954)

Процессы превращения термореактивных смол в начальной стадии отверждения недостаточно изучены. Кинетика отверждения при переходе смол из резитола в резит изучалась в работе ⁽¹⁾. Представляет интерес исследовать механизм превращения смол при переходе их из резола в резитол на разных стадиях изготовления технических термореактивных пресспорошков.

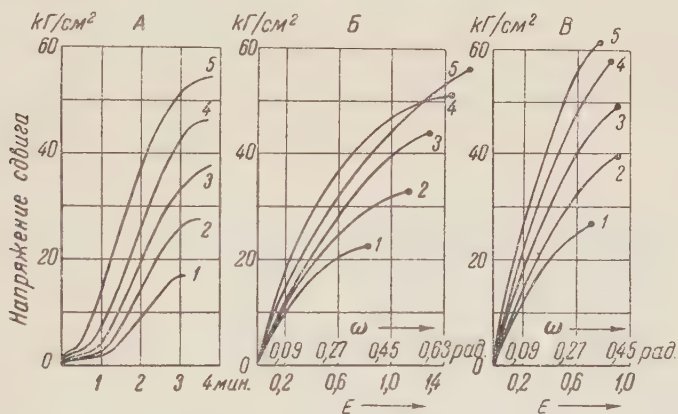


Рис. 1. Кинетика процесса отверждения и упруго-эластические свойства при 170° прессматериалов на разных стадиях изготовления. А — кинетика отверждения; Б — механические свойства материала на промежуточной стадии отверждения (до 10 кг/см²); В — механические свойства в конечной стадии отверждения. ω — угол поворота в радианах; E — относительная деформация

Исследования проводились на пресспорошках, подвергавшихся разной продолжительности вальцевания, новолачного и резольного типов, изготовляемых суховальцованным способом, а также при разном времени тепловой обработки при сушке резольных прессматериалов эмульсионного способа производства.

Измерение кинетики процесса превращения смол в пресспорошках при переходе из одного состояния в другое, а также определение технологических свойств пресспорошков и упруго-эластических свойств отвержденных прессматериалов в изделиях, отпрессованных из пресспорошка, взятого на разных стадиях изготовления, производились по изменению напряжения сдвига при заданном градиенте скорости или по вязкости в зависимости от времени и от деформации на пластомере системы автора ⁽¹⁾.

В результате проведенных измерений при различных температурах при давлении 350 кг/см² было установлено следующее:

1. По мере увеличения продолжительности вальцевания и тепловой обработки в процессе сушки (см. кривые 1—5 на рис. 1 А) термореактивные прессматериалы претерпевают изменения, которые характеризуются:

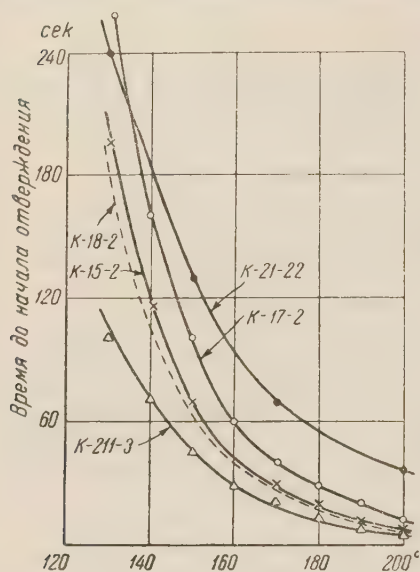


Рис. 2. Зависимость времени до начала отверждения от температуры

а) Уменьшением плавких и растворимых продуктов или уменьшением содержания экстрагируемых в спиртобензольной смеси от 53 до 34 %.

б) Изменением кинетики процесса отверждения и технологических свойств: постепенным увеличением вязкости и уменьшением продолжительности времени пребывания прессматериала в вязко-текучем состоянии, увеличением скорости отверждения и увеличением жесткости материала конечной стадии отверждения (см. кривые 1—5 рис. 1 А). На участке вязко-текучего состояния коэффициент вязкости прессматериалов изменяется от $30 \cdot 10^6$ до $400 \cdot 10^6$ пуаз. Уменьшение продолжительности пребывания термореактивного прессматериала в вязко-текучем состоянии (см. рис. 2) с возрастанием температуры и уменьшением содержания в смоле низкомолекулярных фракций и продуктов, способных вступать в реакцию в ходе отверждения, подчиняется уравнению

$$\Theta = Ae^{U/kT}, \quad (1)$$

где Θ — время пребывания прессматериала в вязко-текучем состоянии в сек.; U — свободная энергия активации реакции поликонденсации в ккал/моль; T — абсолютная температура; k — константа Больцмана; A — параметр, зависящий от количества продуктов в пресскомпозиции, способных вступать в реакцию, в процентах.

Отсюда следует, что процессы поликонденсации (², ⁴), связанные с превращением смол на участке вязко-текучего состояния или при переходе из резолы в резитол, протекают по статистическим законам. В результате происходит одновременный постепенный переход всех фракций смол из одной стадии отверждения в другую, но так как более низкомолекулярные полимеры более подвижны, то они быстрее вступают в реакцию по сравнению с более высокомолекулярными, которые менее подвижны (⁴).

В зависимости от полидисперсности смолы и количества низкомолекулярных фракций, содержащихся в смоле и способных вступать в реакцию, будет определяться продолжительность времени пребывания пресс-

Таблица 1

Значение свободной тепловой энергии и энтропии активации реакции поликонденсации феноло-формальдегидных смол в водно-волачного и резольного типов в пресспорошках

Марка пресс-материала	Свободная энергия активации поликонденсации	Теплота активации	Энтропия активации, кал/моль·град	A·40° при 170°
	ккал/моль			
K-18-2	16,6	30,4	31	1,77
K-17-2	16,6	30,0	30,2	2,52
K-15-2	16,6	30,3	30,8	1,90
K-211-3	15,0	27,4	28	7,40
K-21-22	11,3	18,9	17,3	1760

материала в вязко-текучем состоянии (сокращение горизонтального участка у кривых 1—5 рис. 1 А). В результате такой реакции, протекающей на разных этапах изготовления пресспорошков, смола переводится на более глубокую стадию поликонденсации, а потому она будет характеризоваться меньшей полидисперсностью или большей однородностью по фракционному составу. Вследствие этого на разных этапах изготовления получаются пресспорошки с различными технологическими характеристиками, а материал в изделиях из такого пресспорошка отличается по своим пружо-эластическим свойствам (см. рис. 1 и 3).

Наблюдаемое понижение пружо-эластических свойств прессматериала в изделиях (см. рис. 1 Б и В), отпрессованных из пресспорошка, содержащего повышенное количество плавкой и растворимой смолы (кривая 1 на рис. 1 А), объясняется тем, что при более быстром процессе отверждения смол в пресспорошках при температурах прессования, повышенных по сравнению с температурами вальцевания и сушки, происходит образование более рыхлой структуры смол и менее прочного материала (кривые 1 и 2 на рис. 1 Б и В). Если же смола переведена на более глубокую стадию конденсации (кривые 4 и 5 на рис. 1 А) при температурах вальцевания и сушки, заниженных

по сравнению с температурой прессования изделий, то получаемый в изделиях материал (кривые 5 и 4 на рис. 1 Б и В) характеризуется более длинными разветвленными цепями полимерных молекул, на что указывает увеличение напряжения сдвига и увеличение относительной деформации у прессматериалов, отвержденных до промежуточной стадии в 10 кг/см^2 (см. рис. 1 Б) и до конечной стадии (см. рис. 1 В). Следовательно, для получения более высококачественных пресспорошков смола у них должна находиться на промежуточной стадии — между резольным и резитолом (см. кривые 3 и 4 на рис. 1 А). Прессматериалы, у которых смола переведена в стадию, близкую к резитолу (кривые 5 на рис. 1 А), характеризуются на промежуточной стадии отверждения менее устойчивой сшивкой полимерных цепей, на что указывает понижение модуля пружости, увеличение напряжения сдвига и относительной деформации (кривые 5 рис. 1 Б).

Таким образом, процесс отверждения требует не только сближения между собой реагирующих молекул, что осуществляется при формировании изделий, но и затраты некоторого времени на выдержку под прессом. Последнее зависит от времени релаксации (¹) (время перехода в равновесное состояние полимера, деформированного в потоке при формировании изделий) и времени, требуемого на завершение реакции, которое будет возрастать вследствие уменьшения энтропии активации реакции отверждения при переходе смол на более глубокую стадию поликонденсации. Это подтверждается данными табл. 1, которые указывают на меньшую величину энтропии активации у резольного прессматериала К-21-22, изготовляемого на более вязких смолах по сравнению с новолачными — типа К-18-2.

II. Присутствующие в термореактивных прессматериалах разнообразные по своей природе низкомолекулярные продукты могут быть разделе-

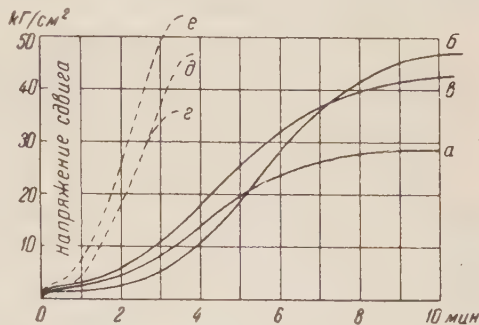


Рис. 3. Изменение технологических характеристик: резольного прессматериала (а) в зависимости от добавки гексаметиленотрамина (б) и отвердителей типа окиси магния или извести (в); новолачного прессматериала (г) при удалении летучих (д) и в случае перевода смолы на более глубокую стадию полуконденсации (е)

ны на две общие группы: активные и неактивные, по-разному влияющие на изменение технологических свойств термореактивных прессматериалов и упруго-эластических свойств материала в изделиях (см. рис. 3).

К первой группе мы относим все те низкомолекулярные продукты, которые способны вступать в реакцию на всех этапах превращения смолы из одного состояния в другое, а именно: продукты, находящиеся в начальной стадии поликонденсации, низкомолекулярные фракции смолы, гексаметилентетрамин, отвердители типа окиси магнезии, известняк и некоторые другие.

Ко второй группе мы относим некоторые изомеры исходного сырья, вступившие в реакцию при конденсации по тем или другим причинам, могущие присутствовать в смолах, низкомолекулярные продукты, добавляемые к пресспорошкам в качестве смазки, влаги, термопластичную компоненту смолы и др.

Продукты, относящиеся к первой группе, за исключением отвердителей типа окиси магнезии и известняк, снижают коэффициент вязкости, напряжения сдвига или повышают пластичность прессматериалов, находящихся в вязко-текучем состоянии, снижают напряжение сдвига материала в конечной стадии отверждения, удлиняют время пребывания пресспорошка в вязко-текучем состоянии за счет протекающей во времени реакции поликонденсации и удлиняют время отверждения (кривые 1 на рис. 1 и 3). В резолитового типа смолах гексаметилентетрамин также снижает вязкость, удлиняет время пребывания прессматериала в вязко-текучем состоянии; это указывает на реакцию с образованием начальных продуктов конденсации. В конечной стадии отверждения материал приобретает повышенные значения упруго-эластических свойств за счет связывания термопластичной компоненты смолы и роста более длинных разветвленных полимерных молекул.

В результате реакции, вызванной добавкой гексаметилентетрамина, резолитовый прессматериал, характеризующийся кривой *a* на рис. 3, превращается в материал, характеризующийся кривой *b*, который обладает большей скоростью отверждения при переходе из стадии резолита в резолит. Отвердители типа окиси магнезии и известняк вызывают сшивку полимерных цепей на всех этапах реакции отверждения, в результате чего кинетика процесса отверждения такого прессматериала характеризуется кривой *c* (рис. 3), располагающейся выше кривой *a* на всем пути реакции.

Продукты второй группы, не вступающие в реакцию при отверждении, снижают напряжение сдвига или коэффициент вязкости в начальной стадии отверждения, практически не влияют на продолжительность времени пребывания прессматериала в вязко-текучем состоянии и на скорость отверждения, но снижают напряжение сдвига в конечной стадии отверждения, т. е. повышают пластичность материала. Прессматериал, процесс отверждения которого характеризовался кривой *g* на рис. 3, после удаления летучих характеризуется кривой *d*. Если же он подвергается тепловой обработке в такой степени, что происходит не только удаление летучих, но и переход смолы на более глубокую стадию конденсации, то процесс отверждения его будет характеризоваться кривой *e* с уменьшенным временем пребывания в вязко-текучем состоянии, увеличенной скоростью отверждения и увеличенным напряжением сдвига в конечной стадии отверждения.

Научно-исследовательский
институт пластмасс

Поступило
11 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Ф. Канавец, Докл. к 7-й конф. по высокомолекулярным соединениям. Изд. АН СССР, 1952. ² Г. С. Петров, М. Б. Выгодская, К. Г. Алексеев, там же. ³ И. П. Лосев, Г. С. Петров, Химия искусственных смол, 1952. ⁴ П. П. Кобекко, Аморфные вещества, Изд. АН СССР, 1952. ⁵ Г. Л. Слонимский, В. А. Каргин, Л. И. Голубенкова, ДАН, 93, № 2 (1953).

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

П. А. ТЕСНЕР

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ НЕПОЛНОГО ГОРЕНИЯ

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 8 II 1954)

В применении к процессам горения термодинамика является незаменимым методом исследования, так как позволяет найти температуру и состав продуктов горения при самых различных условиях. Для этой цели разработаны специальные методы расчета. В основе этих методов лежит представление о равновесии образующихся при горении продуктов.

В последнее время большое практическое значение приобрели процессы неполного горения, при которых получаются промежуточные продукты, которые могут и не находиться в равновесии с другими продуктами реакции. К таким процессам относятся, например, получение ацетилена при неполном сжигании метана в кислороде ⁽¹⁾ или процессы получения сажи при неполном сжигании метана или других углеводородов в воздухе (печной, ламповый, форсуночный процессы) ⁽²⁾. Ввиду отсутствия равновесия между образующимися при подобных процессах продуктами для получения целевых продуктов необходима закалка, т. е. резкое охлаждение продуктов реакции.

В настоящей работе дается методика термодинамического расчета процессов, приводящих к таким неравновесным или, точнее, не вполне равновесным системам.

Принцип метода

При всяком процессе неполного горения углеводородов образуются следующие газообразные компоненты: CO, CO₂, H₂, H₂O. Эти компоненты обратимо взаимодействуют между собой по так называемой реакции водяного газа $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Нам неизвестны работы по измерению скорости реакции водяного газа при высоких температурах. При температурах выше 1000° эта скорость, по видимому, очень велика. Так, еще Габер ⁽³⁾ показал, что в непосредственной близости от внутреннего конуса бунзеновской горелки состав газа соответствует равновесию водяного газа. Бенедек ⁽⁴⁾ показал, что при получении ацетилена при неполном горении метана в кислороде образующиеся компоненты реакции водяного газа, несмотря на то, что реакция продолжается менее одной сотой секунды, находятся в равновесии.

Таким образом, естественно рассматривать смесь продуктов неполного горения углеводородов как равновесную смесь компонентов реакции водяного газа, с которыми взаимодействуют вышедшие из зоны горения промежуточные или непрореагировавшие продукты. Это взаимодействие сводится в основном к реакциям конверсии углеводородов и газификации углерода.

В случае отсутствия в продуктах горения частиц твердого углерода в виде сажи или несгоревших частиц угля, т. е. в случае гомогенной газовой смеси, недостаточно быстрое взаимодействие углеводородов с водяным

паром и углекислотой объясняется относительной медленностью этих реакций. При наличии в продуктах горения частичек твердого углерода недостаточно быстрое взаимодействие может в большей или меньшей степени объясняться скоростью диффузии компонентов реакции к поверхности углерода.

В ходе взаимодействия продуктов, не находящихся в равновесии с компонентами реакции водяного газа, состав водяного газа изменяется, так как углекислота и водяной пар превращаются в окись углерода и водород.

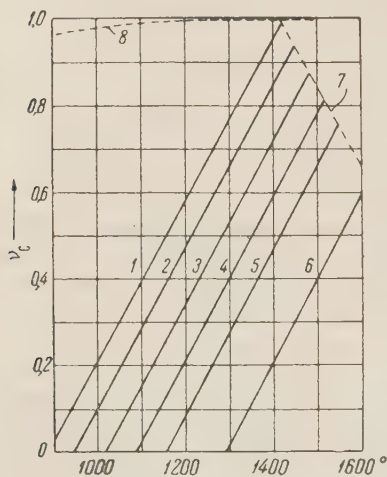


Рис. 1. Зависимость выхода углерода (сажи) при печном процессе (неполное сжигание метана в воздухе) от температуры продуктов горения. 1, 2, 3, 4, 5 — $K_p = 0,10$, $v_{CH_4} = 0,05$; 6 — $K_p = v_{CH_4} = 0$ (адиабата); 7 — максимально возможный выход углерода; 8 — максимально возможный выход углерода по реакции $CH_4 = C + 2H_2$ (5). 1 — $v_{O_2} = 0,9$; 2 — $0,95$; 3 — $1,0$; 4 — $1,05$; 5 — $1,1$; 6 — $1,0$

Кроме того, температура продуктов реакции может изменяться как в результате рассматриваемых реакций, так и в результате теплоотдачи в окружающую среду. Но ввиду быстрого установления равновесия реакции водяного газа по сравнению с другими одновременно протекающими реакциями мы можем считать, что это равновесие в каждый момент времени соответствует температуре продуктов реакции.

Таким образом, для расчета любого процесса неполного горения углеводородов можно написать следующие пять независимых уравнений: уравнения баланса углерода, водорода и кислорода (1), (2) и (3); уравнение равновесия компонентов реакции водяного газа (4); уравнение теплового баланса (5).

Пусть число неизвестных, однозначно определяющих рассматриваемый процесс неполного горения, будет n ; обычно $n > 5$. Тогда для полного расчета процесса нужно определить экспериментально или задаться значениями $n - 5$ неизвестных. Другими словами, наша система уравнений имеет $n - 5$ степеней свободы и может быть определена через $n - 5$ параметров, в качестве которых могут быть приняты любые из n неизвестных.

Обычно число неизвестных может быть сведено к 6 : 5 стехиометрических коэффициентов (4 компонента реакции водяного газа и целевой продукт реакции) и температура продуктов реакции. Для однозначного определения такой системы достаточно одного параметра, в качестве которого удобнее всего принять температуру продуктов реакции.

В этом случае мы получаем 5 уравнений для определения стехиометрических коэффициентов компонентов реакции. Так как из пяти уравнений (1) — (5) четыре являются линейными и только одно (4) уравнение — второго порядка, значения неизвестных легко получить в явном виде. Для этого достаточно при помощи уравнений (1), (2), (3) и (5) подстановкой выразить значения 4 неизвестных компонентов через 5-й и подставить эти значения в (4).

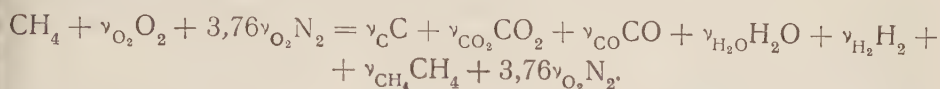
Полученные таким путем уравнения дают аналитическую зависимость состава продуктов горения от температуры. Эти уравнения справедливы во всех случаях, когда в продуктах горения компоненты реакции водяного газа находятся в равновесии и изменение свободной энергии реакции имеет отрицательное значение. Последняя оговорка имеет лишь принципиальное значение, так как термодинамическая возможность получения при высоких температурах значительных количеств таких продуктов, как ацетил или углерод, доказана рядом работ (5, 6).

Если результаты расчета по найденным уравнениям представить графически, то, определив экспериментально любое из шести неизвестных, можно графически найти остальные пять. Если при этом экспериментально определяется состав продуктов горения, необходимо обеспечить достаточно быструю закалку, так как в противном случае состав продуктов горения не будет соответствовать их температуре.

Расчет процесса получения печной сажи

Ниже в виде примера приводится расчет процесса образования сажи (углерода) при неполном горении метана в воздухе.

Уравнение процесса:



Уравнения баланса углерода, водорода и кислорода:

$$\nu_{\text{CO}_2} + \nu_{\text{CO}} + \nu_{\text{C}} = A; \quad (1)$$

$$\nu_{\text{CO}_2} + 1/2 (\nu_{\text{CO}} + \nu_{\text{H}_2\text{O}}) = \nu_{\text{O}_2}; \quad (2)$$

$$\nu_{\text{H}_2\text{O}} + \nu_{\text{H}_2} = 2A, \quad (3)$$

где $A = 1 - \nu_{\text{CH}_4}$.

Уравнение равновесия водяного газа:

$$K_p = \frac{\nu_{\text{CO}} \nu_{\text{H}_2\text{O}}}{\nu_{\text{CO}_2} \nu_{\text{H}_2}}. \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса

$$Q_{\text{CH}_4} + Q_{\text{под}} = \nu_{\text{C}} (Q + q)_{\text{C}} + \nu_{\text{CO}} (Q + q)_{\text{CO}} + \nu_{\text{H}_2} (Q + q)_{\text{H}_2} + \nu_{\text{CH}_4} (Q + q)_{\text{CH}_4} + \nu_{\text{H}_2\text{O}} q_{\text{H}_2\text{O}} + \nu_{\text{CO}_2} q_{\text{CO}_2} + 3,76 \nu_{\text{O}_2} q_{\text{N}_2} + K_{\text{п}} Q_{\text{CH}_4}. \quad (5)$$

Здесь ν_i — число молей компонента i в расчете на 1 моль вводимого в процесс метана; Q_i — теплота сгорания компонента i (H_2O — газ); q_i — энтальпия компонента i при температуре t ; $Q_{\text{под}}$ — физическое тепло вводимых в процесс компонентов в ккал на 1 моль метана; $K_{\text{п}}$ — потери реакционного устройства в долях Q_{CH_4} ; $Q_i + q_i = (Q + q)_i$.

Из (1, 2, 3) получим:

$$\nu_{\text{H}_2\text{O}} = 2A - \nu_{\text{H}_2}; \quad (6)$$

$$\nu_{\text{CO}_2} = \nu_{\text{O}_2} - A + 1/2 (\nu_{\text{H}_2} - \nu_{\text{CO}}); \quad (7)$$

$$\nu_{\text{C}} = 2A - \nu_{\text{O}_2} - 1/2 (\nu_{\text{H}_2} + \nu_{\text{CO}}). \quad (8)$$

Подставив (6) — (8) в (5), получим:

$$\nu_{\text{CO}} = - \frac{C \nu_{\text{H}_2} + E}{D}, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} C &= -1/2 (Q + q)_{\text{C}} + (Q + q)_{\text{H}_2} + 1/2 q_{\text{CO}_2} - q_{\text{H}_2\text{O}}; \\ D &= -1/2 (Q + q)_{\text{C}} + (Q + q)_{\text{CO}} - 1/2 q_{\text{CO}_2}; \\ E &= -(2A - \nu_{\text{O}_2}) (Q + q)_{\text{C}} + \nu_{\text{CH}_4} (Q + q)_{\text{CH}_4} + \\ &+ (\nu_{\text{O}_2} - A) q_{\text{CO}_2} + 2A q_{\text{H}_2\text{O}} + 3,76 \nu_{\text{O}_2} q_{\text{N}_2} - (1 - K_{\text{п}}) Q_{\text{CH}_4}. \end{aligned} \quad (10)$$

Подставим (6), (7), (9) в (4); получим:

$$\nu_{H_2} = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F}, \quad (11)$$

где

$$F = \frac{1}{2}K_p + (\frac{1}{2}K_p - 1) \frac{C}{D}, \quad (12)$$

$$G = (\frac{1}{2}K_p - 1) \frac{E}{D} + K_p(\nu_{O_2} - A) + 2A \frac{C}{D}; \quad H = 2A \frac{E}{D}.$$

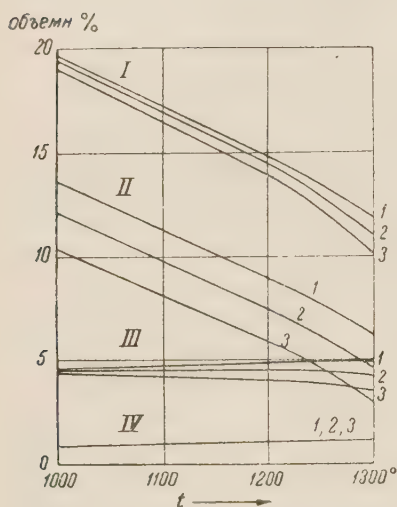


Рис. 2. Состав сухих продуктов горения при неполном сжигании метана в воздухе. $K_p = 0,10$; $\nu_{CH_4} = 0,05$. I — H_2 ; II — CO ; III — CO_2 ; IV — CH_4 . 1 — $\nu_{O_2} = 1,05$; 2 — $1,00$; 3 — $0,95$

при высокой температуре (выше 1000°) и компоненты реакции водяного газа в продуктах горения находятся в равновесии. Сюда можно отнести большинство процессов сажевой технологии, процессы получения ацетилена и синтезгаза при неполном горении природного газа в кислороде, процесс получения водяного газа в генераторах с кипящим слоем и т. п.

Всесоюзный нефтегазовый
научно-исследовательский
институт

Поступило
5 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. Гольдштейн, Химическая переработка нефти, ИЛ, 1952. ² В. В. Кельцев, П. А. Теснер, Сажа, свойства, производство и применение, М.—Л., 1952. ³ F. Haber, Thermodynamik technischer gasreaktionen, 1905. ⁴ P. Benedek, Magyar Kémiai Folyóirat, 57, 372 (1951). ⁵ L. S. Kassel, J. Am. Chem. Soc., 55, 1351 (1933). ⁶ А. А. Введенский, А. В. Фрост, ЖОХ, 2, 720 (1932). ⁷ Справочник под редакцией М. Д. Тиличеева, Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов, в. III, М.—Л., 1951, стр. 317, 413.

Л. Г. БЕРНАДСКАЯ, Ф. Е. ЛАПЧИК и И. С. УСЕНКО
**ОБ ЭФФУЗИВАХ ЧЕРНИГОВСКОГО РАЙОНА
(ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКАЯ ВПАДИНА)**

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 16 II 1954)

В последнее время на территории Днепроовско-Донецкой впадины в пределах Черниговского района вскрыта мощная осадочно-эффузивная толща, залегающая непосредственно на кристаллическом докембрийском фундаменте. Эта толща была зафиксирована одной из многочисленных гравитационных аномалий, которые еще в 1946 г. рассматривались как аномалии, вызванные залеганием на больших глубинах покровов, сложенных основными эффузивными породами ⁽¹⁾.

Осадочно-эффузивная толща залегает в интервале глубин 1587—2751 м. Состоит она из покровов основных пород, чередующихся с пластами пирогенных кластолитов и осадочных нормальных пород. Число обнаруженных покровов около десяти, мощность их колеблется в значительных пределах — от нескольких метров до 140 м.

Из 1160 м общей мощности осадочно-эффузивной толщи на долю нормально-осадочных пород приходится около 300 м, суммарная мощность вулканогенных кластолитов равна 445 м, общая мощность покровов, сложенных вулканитами, составляет 415 м.

Нормально-осадочные породы описываемой осадочно-эффузивной толщи могут быть разделены на две генетические группы — кластогенную и хемогенную. Кластогенные породы представлены темносерыми аргиллитами, алевролитами и песчаниками, содержащими обычно незначительное количество пирогенного материала; хемогенные принадлежат известнякам, доломитам и ангидритам, наблюдающимся, главным образом, в нижней части разреза.

Какая-либо закономерность размещения нормальных кластогенных пород в вертикальном разрезе не улавливается. Аргиллиты, алевролиты и мелкозернистые песчаники переслаиваются между собой, отражая ритмичность колебательных вертикальных движений в процессе прогибания впадины; причем эти колебательные движения порой были значительной амплитуды, так как данная кластогенная толща нередко содержит, правда, маломощные, измеряющиеся часто несколькими десятками сантиметров, прослои известняков.

Аргиллиты — это темносерые, довольно плотные породы, сложенные глинистым пелитовым материалом, в котором значительную роль играют карбонаты, иногда гидроокислы железа, являющиеся, повидимому, продуктами разложения основных эффузивных пород.

Алевролиты по составу близки к аргиллитам; от последних отличаются содержанием значительного количества более крупного кластического материала, принадлежащего преимущественно обломкам кварца, сцементированным пелитовым веществом глинистого характера, часто обогащенным карбонатом.

Песчаники выражены мелкозернистыми разновидностями, состоящими в основном из обломков кварца; обломки полевого шпата, магнетита,

пироксена наблюдаются в ограниченном количестве; размер обломков обычно меньше одного миллиметра в поперечнике. Цемент песчаников пелитовый, часто слюдисто-карбонатный.

В алевролитах и песчаниках обычно присутствует небольшое количество пирогенного материала (вулканический пепел и мелкие обломки эффузивов).

Известняки представлены мелкозернистыми глинистыми разновидностями темного цвета, тонкопереслаивающимися с аргиллитами; мощность таких аргиллито-известняковых пачек колеблется в значительных пределах — от 1 до 30 м. Известняки встречаются по всему разрезу осадочно-эффузивной толщи, однако суммарная их мощность незначительная и вряд ли превышает 20 м.

Хемогенные породы более или менее значительно развиты только в основании осадочно-эффузивной толщи — в интервале 2600—2750 м. Эта часть разреза состоит из переслаивающихся с аргиллитами и туфогенными породами доломитизированных мелкозернистых известняков, среди которых в верхней части интервала наблюдаются прослои мощностью в несколько сантиметров мелкозернистого ангидрита, местами переходящего в гипс.

Среди осадочной толщи большую роль играют туфогенные породы, отличающиеся большим содержанием пирокластического материала. Эти породы характеризуются чрезвычайно большим структурным разнообразием. Среди них имеются как туфогенные аргиллиты, так и туфогенные конгломераты со всеми промежуточными разновидностями — туфогенными алевролитами и песчаниками.

По содержанию пирогенных обломков они также различны: имеются разновидности, состоящие почти из одних вулканогенных частиц, и, наоборот, разновидности, приближающиеся по своему составу к нормальным осадочным породам.

По составу обломков они также выявляют значительное разнообразие: среди них встречаются как витрокластические, так и литокластические разновидности; последние являются более распространенными.

Различны они и по степени окатанности обломков; по этому признаку они могут быть отнесены как к типичным туфогенным конгломератам, так и к породам, близким к туфогенным брекчиям со всеми возможными переходами между ними.

Все эти туфогенные породы сложены главным образом продуктами дезинтеграции базальтов, частью порфиритов и трахидолеритов, сцементированных железистым, либо карбонатным цементом, реже пелитовым материалом с примесью того или иного количества пепла; иногда цемент принадлежит опалу и халцедону.

Вулканиды Черниговского района представлены продуктами дифференциации базальтовой магмы, причем в ряде интервалов они являются сильно разрушенными — каолинизированными, ожеженными.

Наиболее распространенными среди них являются базальты; остальные породы — диабазы, порфириты, эффузивные аналоги полевошпатовых пироксенитов и трахидолериты — пользуются меньшим развитием.

Базальты — это преимущественно микрофировые породы; афанитовые и разновидности с порфировой структурой встречаются редко. Состоят они из основного плагиоклаза, моноклинного пироксена и магнетита, имеющих значение главных породообразующих минералов; второстепенные представлены ильменитом, частью пиритом, в некоторых разновидностях заметную роль играют биотит и бурая роговая обманка, в небольшом количестве присутствуют апатит и стекло; вторичные минералы принадлежат хлориту, карбонату, гидрооксидам железа; иногда встречаются серицит, каолин, гидрослюды; структура обычно микрофировая, основная масса интерсертальная; микрофировые выделения выражены буроватым пироксеном, с углом между оптическими осями равным $+55^\circ$, и основным плагиоклазом.

Диабазы обычно являются в той или иной степени измененными породами, иногда альбитизированными; в большинстве случаев пироксен в них замещен либо карбонатом либо хлоритом; биотит, если присутствует, обычно сохраняется.

В такой же степени изменены и порфириты, в которых первичный плагиоклаз также замещен альбитом, а темноцветные компоненты — хлоритом и карбонатом.

Эффузивные аналоги полевошпатовых пироксенитов по структуре и составу сходны с базальтами, от которых отличаются только содержанием плагиоклаза, играющего в них роль второстепенного минерала. Эти породы по химическому составу почти полностью отвечают гипербазитам.

Трахидолериты в своем распространении ограничены. Обнаружены они на глубине 2044—2068 м; характеризуются макроскопически хорошо выраженной зернистой структурой; в сравнении с базальтами обладают более светлой окраской. Главными составными частями этих пород являются полевые шпаты (ортоклаз количественно подчинен плагиоклазу), зеленая роговая обманка и биотит; второстепенные представлены кварцем, апатитом и магнетитом; вторичные — хлоритом, карбонатом; роговая обманка, повидимому, также является вторичной. Структура породы микрофировая, основная масса зернистая, местами офитовая.

Петрохимической особенностью описываемых вулканитов является повышенное содержание титана и калия.

Особенностью этих пород является также то, что гипербазитовые их представители характеризуются пониженным содержанием магния и, наоборот, повышенным — кальция. Это обстоятельство дает основание относить их к породам не перидотитовой, а пироксенитовой ветви.

Приведенные материалы, несмотря на свою ограниченность, позволяют установить основные черты формирования осадочно-эффузивной толщи.

Образование вулканогенных пород, несомненно, связано с излиянием по разломам основных магм из глубоких зон, залегающих ниже гранитной оболочки. По этим же разломам, повидимому, происходило и опускание впадины.

Основной формой залегания вулканитов в Черниговском районе является покров. Гипабиссальные формы залегания среди черниговских эффузивов имеют, повидимому, ограниченное распространение. Возможно, такой формой залегания обладают только зернистые трахидолериты, обнаруженные на глубине 2044—2052 м.

Вулканиты Черниговского участка относятся к дифференцированным продуктам базальтовой магмы. Как это явствует из разреза, наиболее ранними из них являются базальты, залегающие в нижних частях толщ; они образовались в начале дифференциации или до дифференциации базальтовой магмы; за ними следуют порфириты и диабазо-порфириты (андезито-базальты); гипербазиты относятся к более поздним продуктам, выше их располагаются также частью базальты и порфириты; последними, повидимому, изливались трахидолериты.

Наличие в области развития вулканитов туфогенных пород, а также явлений выветривания (каолинизации, гидратации, карбонатизации) свидетельствует о том, что впадина при общей тенденции к опусканию испытывала также поднятия, превращаясь на некоторое время в сушу. Изливающиеся породы в эти периоды подвергались интенсивной дезинтеграции; продукты разрушения их шли на образование туфогенных толщ.

Излияние лав на поверхность впадины происходило одновременно с осадчением кластолитов нормального состава — аргиллитов, алевролитов, песчаников (частью хемогенных продуктов). Формирование нормальных осадочных пород и переслаивающихся с ними вулканитов — это синхронный процесс одного этапа, развитие которого обусловлено прогибанием Днепровско-Донецкой впадины вдоль региональных глубоких разломов северо-западного простирания.

Таким образом, можно считать, что в Черниговском районе вскрыта нормально-осадочно-эффузивная формация, отлагавшаяся на докембрийское кристаллическое основание, бывшее до этого платформой. По литологическому составу осадочно-эффузивная толща, хотя и несет в своей нижней 150-метровой части признаки лагунного режима, в целом близка к нижнетерригенным формациям.

Характер структуры нижней части впадины, сложенной осадочно-эффузивной толщей пород, не ясен, тем не менее можно утверждать, что она либо собрана в складки, либо разбита сбросами на блоки, выведенные из горизонтального залегания. Это совершенно определенно доказывается наличием в ряде интервалов скважины значительных углов падения плоскостей слоистости осадочных пород по отношению к оси керна (колебания углов наблюдаются в пределах 20—50°).

Время образования эффузивов Черниговского района определяется более или менее точно. Осадочно-эффузивная толща ее перекрыта породами верхневизейского возраста. В этих породах Н. Е. Бражникова обнаружена верхневизейская микрофауна, что дает основание считать осадочно-эффузивную толщу, залегающую ниже, не моложе верхнего визе. Нижняя граница осадочно-эффузивной толщи фаунистически не определена.

Тем не менее, сравнение этой эффузивной толщи с верхнедевонскими вулканитами бассейна р. Мокрая Волноваха (южная окраина Донбасса) (2) не оставляет никакого сомнения в их синхронности. Весь комплекс эффузивов Черниговского района петрографически, минералогически и петрохимически чрезвычайно сходен с верхнедевонским эффузивным комплексом бассейна р. Мокрая Волноваха. Это сходство выходит за рамки простого совпадения.

Оба комплекса характеризуются вполне сходной гаммой дифференциатов базальтовой магмы, среди которых имеются представители, приближающиеся по составу к сиенито-трахитовой ветви. Оба комплекса характеризуются резко повышенным содержанием окиси титана и калия. Эти особенности придают специфические черты эффузивам обоих участков, дающие основание считать их породами не только одной петрографической провинции, но и породами одного возраста.

Таким образом, на основании сравнительного петрографического и петрохимического анализа можно считать, что эффузивы Черниговского района синхронны верхнедевонским эффузивам бассейна р. Мокрая Волноваха.

Поступило
2 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Бондарчук, Геологічна структура УРСР, Киев, 1946. ² І. С. Усенко, Наук. зап. Київськ. педінст., сер. геол.-географ., № 1 (1940).

ГЕОЛОГИЯ

Н. Н. КАРЛОВ

**О НАХОДКЕ ИСКОПАЕМЫХ РАКОВИН КАСПИЙСКИХ
МОЛЛЮСКОВ В РУСЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НИЖНЕГО ДНЕПРА
И ИНГУЛЬЦА**

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 20 II 1954)

Четвертичная солоноватоводная малакофауна из русловых отложений Днепра и Ингульца за пределами Днепро-Бугского лимана до сих пор не была известна. В 1951 г. автору была доставлена небольшая коллекция хорошо сохранившихся раковин солоноватоводных и пресноводных моллюсков, собранная П. Н. Морозом при производстве рефулерных работ в русле Днепра, между правым берегом и о. Козацким, в районе строительства Каховского гидроузла. Эта ископаемая фауна была заключена в рыхлом кварцевом песке, залегающем на глубине около 15 м ниже меженного уровня Днепра, в основании толщи аллювиальных песков с раковинами пресноводных моллюсков.

В том же году эта коллекция была пополнена автором сборами раковин из вышеуказанного пункта и из русла р. Ингульца близ с. Дарьевки (приблизительно в 23 км к северу от г. Херсона), где остатки ископаемых солоноватоводных моллюсков были встречены при бурении нескольких скважин в мощных лиманных илах с тонкими прослойками рыхлого ракушечника на глубине от 8 до 25 м ниже уреза воды в р. Ингульце.

В обоих вышеуказанных пунктах обнаружена одинаковая ископаемая малакофауна, состоящая, в основном, из солоноватоводных моллюсков каспийского типа с примесью чисто пресноводных форм. В составе этой фауны автором определены следующие виды и вариететы: *Dreissensia polymorpha* (Pall.) var. *marina* Pall., *D. polymorpha* (Pall.) var. *regularis* Andrus., *D. polymorpha* (Pall.) var. *oblonga* Andrus., *D. polymorpha* (Pall.) var. *elata* Andrus., *D. polymorpha* (Pall.) var. *lunata* var. nov., *D. limanica* sp. nov., *D. eichwaldi* Issel, *D. distincta* Andrus., *D. distincta* Andrus. var. *recta* var. nov., *D. aff. bugensis* Andrus., *D. cf. caspia* Eichw., *D. gromovi* sp. nov., *D. pontocaspica* Andrus., *D. pontocaspica* Andrus. var. *nalivkini* var. nov. и ряд других.

Подавляющее большинство обнаруженных форм (25, или 71,4%) встречается в новоэвксинских слоях Причерноморья или весьма близки к новоэвксинским видам генетически, почти столько же форм (21, или 60% всех видов и вариететов) тождественны с современными каспийскими видами или находятся с ними в ближайшем родстве, 16 форм (45,6%) встречаются в ископаемом виде в хвалынских отложениях или близки к хвалынским видам, 15 форм (42,8%) тождественны либо родственны современным лиманным моллюскам Причерноморья, 12 форм (34,3%) встречаются в ископаемом состоянии в древнеэвксинских отложениях, 5 форм (14,3%) являются чисто пресноводными, и наконец, всего 2 формы (5,7%) обитают в настоящее время в опресненных участках Черного и Азовского морей.

Таким образом, 85,7% всех обнаруженных видов и вариететов принадлежат биоценозам солоноватых вод и встречаются в отложениях кас-

пийского типа. Считать каховскую фауну современной лиманной ни в коем случае нельзя, так как это находится в противоречии с условиями ее залегания, с большой удаленностью мест захоронения от Днепро-Бугского лимана и с наличием в ее составе ряда форм либо вообще вымерших (*Dreissensia pontocaspica* Andrus., *D. eichwaldi* Issel, *D. polymorpha* (Pall.) var. *regularis* Andrus., *Fagotia esperoides* Fer. и др.), либо живущих в настоящее время только в Каспийском море и отсутствующих в рецентном состоянии в лиманах Азово-Черноморского края (*Dreissensia polymorpha* (Pall.) var. *marina* Pall., var. *elata* Andrus. et var. *oblonga* Andrus., *D. distincta* Andrus., *Lithoglyphus caspius* Kryn., *Thedoxus pallasii* Lindh var. *nalivkini* Koles. и др.).

На основании этого необходимо прийти к выводу о том, что в данном случае мы имеем дело с ископаемой каспийской фауной либо древне-эвксинского, либо новозэвксинского возраста. Против признания первого из этих допущений говорит отсутствие в составе каховской малакофауны типичных древнекаспийских кардид, в том числе — *Didacna crassa* Eichw. и *D. rudis* Nalivkin, а также геоморфологические условия ее нахождения — в русловых осадках пойменной террасы Днепра и Ингульца, сформировавшейся в геологически недавнее время. Второе допущение (новозэвксинского возраста фауны) представляется гораздо более вероятным, так как оно подтверждается чрезвычайно большим сходством видового состава каховских солоноватоводных моллюсков с составом типичных биоценозов новозэвксинских слоев в Причерноморье и геоморфологическими условиями местонахождений фауны, в обоих случаях (на Днепре и Ингульце) связанных с первой, пойменной террасой, аналогично условиям залегания новозэвксинской фауны в устье Дона у г. Ейска и др. местах. Учитывая сказанное, наиболее вероятным возрастом каховской фауны и вмещающих ее слоев следует считать новозэвксинский.

В этом случае возникает вопрос, каким образом солоноватоводная новозэвксинская фауна оказалась захороненной у Каховки, на расстоянии 90 км от устья Днепра и 70 км от Каркинитского залива.

Естественно допустить, что захоронение этой фауны в районе строительства Каховского гидроузла было связано с существованием здесь залива новозэвксинского бассейна, подобного нынешнему Одесско-Евпаторийскому заливу Черного моря, однако это предположение не находит подтверждения в данных бурения многочисленных скважин на междуречных пространствах и на верхних (надпойменных) террасах Днепра и Ингульца, которые ни в одном случае не обнаружили слоев с каспийской фауной*.

Следовательно предположение о существовании в районе Каховки более или менее обширного залива новозэвксинского бассейна отпадает. Остается допустить, что каспийская фауна была захоронена в узких эстуариях новозэвксинского времени, занимавших пойменные прирусловые части долин Нижнего Днепра и Ингульца.

Судя по литологическому составу вмещающих каспийскую фауну осадков, в русле Нижнего Днепра существовал настоящий открытый со стороны моря эстуарий, а в русле Ингульца — длинный лиман, отгороженный от моря пересыпью. В пользу этого предположения говорит мощная (свыше 25 м) толща типичных черных газоносных лиманных илов, встреченных скважинами около с. Дарьевки. Днепровский (Борисфенский) эстуарий достигал г. Каховки, а быть может, продолжался и выше по течению Днепра, до его коленообразного изгиба к востоку от г. Никополя; Ингулецкий лиман, вероятно, достигал широты железнодорожной станции Снегиревки.

Анализ литературных данных позволяет предполагать, что аналогичные длинные эстуарии и лиманы существовали во вторую половину

* Личное сообщение А. Ф. Герун.

новоэвксинского времени также в пойменной части других речных долин Азово-Черноморского побережья, в том числе — в низовьях Дона, Ингула, Буга, Хаджибея Куяльника, Тилигула, Молочной, Обиточной и пр.

В связи со сказанным напрашивается вывод о том, что геологически недавняя ингрессия моря, происходившая по всей вероятности во вторую половину новоэвксинского времени, не ограничивалась площадью Одесско-Евпаторийского залива и долинами впадающих в него рек, а захватила также Азовский (Доно-Молочанский) прогиб от низовьев р. Молочной до устья р. Дона.

Современные лиманы Азово-Черноморского края в этом аспекте следует считать не показателями современной трансгрессии Черного моря, как полагают некоторые авторы, а реликтами новоэвксинской ингрессии: остатками некогда более значительных узких морских эстуариев, сократившихся в размерах в связи с положительными тектоническими движениями и восходящим развитием рельефа в древнечерноморскую и историческую эпоху.

При допущении новоэвксинской ингрессии легко объясняется загадочный факт существования в пресных водах Ингульца, Саксагани, Буга и Дона живых солоноватоводных и даже морских организмов, которые по всей вероятности являются реликтами новоэвксинской фауны, приспособившимися к условиям существования в упомянутых реках вследствие медленного и постепенного опреснения воды в эстуариях с превращением их в лиманы.

Поступило
8 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Д. Архангельский, Н. М. Страхов, Геологическое строение и история развития Черного моря. Изд. АН СССР, 1938. ² В. Т. Бондарчук, Збірн. пам. акад. П. А. Тутковського, 2 (1931). ³ Р. Р. Выржиковский, Вестн. Укр. отд. геол. ком., 6 (1925). ⁴ Р. Р. Выржиковский, Вестн. Укр. отд. геол. ком., 11 (1928). ⁵ Р. Р. Выржиковский, Пробл. сов. геол., № 5 (1936). ⁶ И. П. Герасимов, Тр. Сов. секции АИЧПЕ, в. 3 (1937). ⁷ И. П. Герасимов, К. К. Марков, Тр. Инст. географ. АН СССР, 33 (1938). ⁸ Н. А. Григорович-Березовский, Зап. Новор. общ. естеств., 25, 1 (1903). ⁹ Л. И. Дзенс-Литовский, Природа, 1938, № 6. ¹⁰ В. Лыбовский, Тр. Азерб. нефт. научно-исслед. инст., 16 (1933). ¹¹ В. И. Жадин, Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. 1952. ¹² П. А. Журавель, Природа, № 9 (1946). ¹³ Д. В. Наливкин, Тр. Геол. ком., нов. сер., 116 (1915). ¹⁴ Н. А. Соколов, Тр. Геол. ком., 10, № 4 (1895).

А. А. ПОМЕРАНЦЕВА

О ВОЗРАСТЕ НИЖНЕМЕЗОЗОЙСКИХ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОБЛАСТИ ТУРГАЙСКОГО ПРОЛИВА

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 6 II 1954)

Автор настоящей статьи в течение трех лет изучала растительные остатки из нижнемезозойских угленосных отложений центральной части Тургайского пролива с целью определения возраста этих отложений.

Нижнемезозойские угленосные отложения выходят на поверхность только в трех пунктах по восточной окраине Тургайского пролива (Бурлук, Байконур, Киякты), а в центральной части его они выполняют узкие, расположенные почти меридионально депрессии палеозойского ложа и перекрываются мощной толщей меловых и третичных пород.

Вопрос о возрасте угленосных отложений Тургайского пролива до последнего времени оставался спорным.

В. Д. Принада, определивший небольшое количество растительных остатков из Черниговского и Харьковского месторождений, был склонен думать, что угленосные отложения центральной части Тургайского пролива моложе угленосной толщи Челябинского бассейна и других верхнетриасовых угольных месторождений Урала и являются скорее всего среднеюрскими или, в крайнем случае, верхнелейасовыми. И. И. Горский⁽¹⁾, основываясь на геологических данных, считал, что они имеют рэт-лейасовый возраст, по аналогии с угленосными отложениями Челябинского бассейна и других месторождений восточного склона Урала.

В. Н. Барбашинова^(1, 2), изучавшая споры и пыльцу из этих отложений, высказала мнение, что в северной части Тургайского пролива (район оз. Убоган) угленосные отложения имеют нижнеюрский возраст, а в южной части (бассейн рек Муильды, Тасты-Тургай и район озер Ак-Суат и Сары-Муин) — среднеюрский.

Трехлетнее изучение юрской флоры из различных районов Тургайского пролива привело нас к несколько иным выводам, изложенным ниже.

Анализ юрской флоры области Тургайского пролива показывает, что в ней преобладают формы, типичные для сибирской юры, хотя в ней имеются также цикадофиты, не характерные для Сибирской флористической провинции.

При некотором различии в родовом и видовом составе растительных остатков, встречающихся в отдельных пунктах, тип растительности является общим для всего Тургайского пролива. Можно только указать, что папоротники и гинкговые в северных месторождениях несколько более многочисленны по сравнению с южной группой месторождений.

Определение возраста отложения на основании растительных остатков для юрского периода возможно только при наличии большого материала и сравнения растительности с таковой близких областей, где отложения точно датированы.

Учитывая это, о возрасте юрской флоры области Тургайского пролива можно сказать следующее.

Изученная флора сильно отличается как от рэт-лейасовой флоры Челябинского бассейна, так и от нижнеюрских флор Южного Урала и Мугоджар. Наиболее близка ей среднеюрская флора свиты дженишк в бассейне р. Илек (³). Обзор геологического и географического пространства растений, содержащихся в угленосных отложениях Тургайского пролива, показывает, что среди них преобладают растения, типичные для среднеюрских отложений различных районов Европы и Азии, причем нет ни одного вида, характеризующего исключительно лейасовые рэтские или верхнеюрские отложения. Такие растения, как *Cladophlebia nebbensis*, *Phoenicopsis speciosa*, *Czekanowskia rigida*, *Carpolithes cinctus*, *Pityospermum Lundgrenii*, известные из рэта Швеции, в пределах нашей страны присутствуют и в более молодых, в частности среднеюрских отложениях. *Equisetites ferganensis*, *Drepanolepis ferganensis* Tur.-Ket ex MS, *Carpolithes undulatus*, найденные в нижнеюрских отложениях, поднимаются, по видимому, и до низов средней юры.

Таким образом, опираясь на то, что во флоре области Тургайского пролива преобладают среднеюрские формы, но учитывая присутствие элементов более древних флор, возраст угленосных отложений названной области следует ограничить низами средней юры.

Лаборатория геологии угля
Академии наук СССР

Поступило
25 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Н. Барбашинова, Изв. АН Каз.ССР, сер. геол., № 103, в. 13 (1951).
² В. Н. Барбашинова, Автореферат диссертации на соискание уч. степени кандидата геол.-минер. наук, АН Каз.ССР, ИГН, 1952. ³ М. И. Брик, Ископаемая флора и стратиграфия нижнемезозойских отложений басс. среднего течения р. Илек в западном Казахстане. Тр. ВСЕГЕИ. (1952). ⁴ И. И. Горский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1950).

Д. П. РЕЗВОИ

О ГИССАРО-АЛАЙСКОЙ ГЕОСИНКЛИНАЛИ В ВЕРХНЕСИЛУРИЙСКУЮ ЭПОХУ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 12 II 1954)

В первой схеме тектонического районирования Средней Азии, принадлежащей Д. В. Наливкину, Туркестано-Алайская горная область и южная часть Зеравшано-Гиссарской области входят в состав Центральных дуг Средней Азии ⁽³⁾.

В схемах других исследователей Центральным дугам отвечает «Южный Тянь-Шань» В. И. Попова ⁽⁸⁾ и «центральная» и «северная» зоны Южного Тянь-Шаня А. В. Пейве ⁽⁶⁾. Все перечисленные ученые, выделяя эту тектоническую провинцию, руководствовались стремлением показать область, где в течение всего палеозоя существовал типичный геосинклинальный режим с проявившимися в конце палеозоя мощными поднятиями, складчатостью и вулканизмом.

Непрерывное накопление геологических фактов в течение последних лет подтвердило правильность выделения этой тектонической зоны, наметившей еще на заре изучения Средней Азии. Как можно сейчас видеть, Центральным дугам, во всяком случае их западной половине, отвечает крупнейшая глубинная структура *, которую, по характеру ее местоположения и по характеру слагающих ее формаций, следует называть Гиссаро-Алайская геосинклиналь **.

Временем заложения этой глубинной структуры следует считать начало силурийского периода. В верхнесилурийскую эпоху геосинклиналь достигла максимума своего прогибания, в девоне пережила очень существенную перестройку и дифференциацию и, наконец, в верхнем палеозое, после мощных поднятий, складчатости и вулканизма, вступила в кратковременное существование в качестве горной страны ⁽¹¹⁾. В мезозое и палеогене эта область геосинклинали входит в длительную стадию очень спокойной платформенной жизни. Неоген — четвертичная судьба этой геосинклинали общеизвестна.

В настоящей статье мы хотим характеризовать отдельные части Гиссаро-Алайской геосинклинали в эпоху ее максимального прогибания, т. е. в верхнем силуре. В эту эпоху геосинклиналь отчетливо распадается на отдельные основные части: Центральный прогиб и два окраинные прогиба. Рассмотрим их более подробно.

Центральный прогиб геосинклинали территориально совпадает с современной долиной р. Зеравшан, сложенной мощными пес-

* Глубинными структурами мы, следуя А. В. Пейве ⁽⁷⁾, называем крупные, длительно развивающиеся структурные формы, характерные большой глубиной заложения и морфологией формаций осадочных и магматических горных пород для положительных и отрицательных структур.

** По мнению Н. С. Шатского среди крупных тектонических форм земной коры следует различать: 1) геосинклинали, 2) геоантиклинали, 3) геосинклинальные системы и 4) геосинклинальные области ⁽¹²⁾.

чано-сланцевыми, сланцевыми и сланцево-известняковыми образованиями, достигающими громадной мощности 10—11 км. Фауна граптолитов и брахиопод позволяет выделить здесь нижнесилурийские отложения и вс

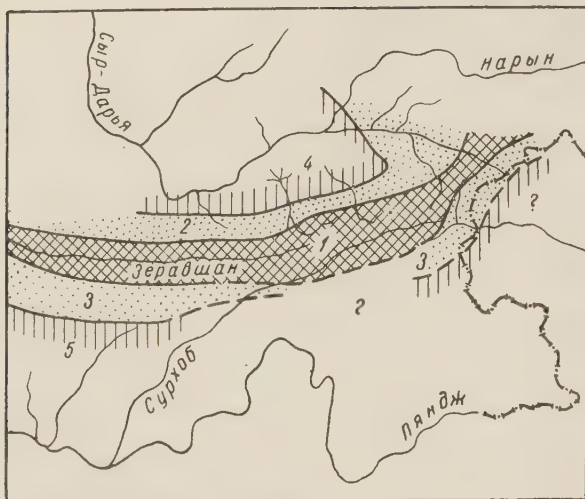


Рис. 1. Схема строения Гиссаро-Алайской геосинклинали в верхнем силуре. 1 — Центральный прогиб, 2 — Северный окраинный прогиб (Матчайский), 3 — Южный окраинный прогиб; 4 — Кураминско-Ферганское поднятие и 5 — Каратегинское поднятие — геоантиклиналь

дельных прогибов, выполненных мощными известняками лудлова (до 2300 м), в которых описан и известный «Матчайский разрез» на р. Ифара (1). В других частях прогиба известняки чередуются со сланцами, образуя описанную нами раньше «Матчайскую фациальную зону» верхнего силура (9). Ширина Северного окраинного прогиба достигает 25—30 км. В своих очертаниях он следует краю Центрального прогиба.

От Центрального прогиба Северный окраинный отделен узкой зоной поднятия, выраженной в разрезах резким сокращением мощностей силура (до 1000—1500 м), выпадением части горизонтов и появлением conglomerates свидетелей размыва (горы Дауда, р. Каравшин). За этим поднятием мы оставляем название «Каравшин-Чугамское».

На севере окраинный прогиб ограничен Кураминско-Ферганской геоантиклиналью (10), край которой четко вырисовывается по прибрежным мелководным отложениям венлока и лудлова, а затем и нижнего девона.

К югу от Центрального прогиба, там, где палеозой не скрыт под мезозойско-кайнозойскими отложениями Алайской долины и долины р. Сурхоб, располагается область развития верхнесилурийских известняково-сланцевых свит, очень похожих на формации Матчайского окраинного прогиба. Таким образом, может быть намечен Южный окраинный прогиб (или зона) геосинклинали.

Наиболее типично эта часть геосинклинали выражена на северном склоне Гиссарского хребта и на южном Зеравшанского, в пределах Центрального Таджикистана, где в основании верхнего силура отложения представлены сланцами с граптолитами и с прослоями фавозитовых известняков, а лудловский ярус — исключительно известняками: амфиболитовыми, фолитофиллитовыми и брахиоподовыми.

Мощность верхнего силура не превышает здесь 2000 м. Следует заметить, что А. В. Пейве и А. Д. Смирнов отмечают в южной части это

р. Кичик-Алай (восточный), где известны очень мощные толщ преимущественно сланцевого состава. Наконец, на северо-востоке также по очень большим мощностям известняков и сланцев (до 5000 м) прогиб может быть прослежен до верховья рр. Тар-Коксу (Кашгарская) на стыке хребтов Алайского и Ферганского.

Северный окраинный прогиб геосинклинали (Матчайский) территориально располагается в области высших предгорий Туркестанского и Алайского хребтов и характеризуется развитием цепочки с

зоны, в основании лудлова (свита S_2^c), присутствие «нескольких мощных невыдержанных горизонтов темнобурых конгломератов», мощностью до 400—300 м (рр. Арг, Арча-Майдан) ⁽⁵⁾.

Для этой же свиты характерно присутствие типичных рифовых известняков, весьма невыдержанных по простиранию. Присутствие конгломератов может указывать на близость размывающейся суши. Такой суши могло быть располагающееся южнее «Каратегинское поднятие» В. И. Попова, захватывающее южный склон Гиссарского хребта и Южно-Таджикскую депрессию ⁽⁸⁾.

Недостаточная разработанность стратиграфии верхнего силура Гиссарского хребта мешает проследить все детали строения южной части Гиссаро-Алайской геосинклинали, однако уже сейчас видна отчетливо намечающаяся симметрия ее строения: Центральный прогиб, выполненный сланцевой формацией большой мощности, с севера и юга окружен зонами накопления относительно маломощных известняково-сланцевых формаций прогибов окраинных. Последние в свою очередь примыкают к ограничивающим геосинклиналь геантиклиналям.

Такова схема строения Гиссаро-Алайской геосинклинали в верхнем силуре.

Львовский государственный университет
им. И. Франко

Поступило
7 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Н. Вебер, Геологическая карта Средней Азии. Лист VII-6 (Исфара). Тр. ВГРО, в. 194, 1934. ² А. П. Марковский, Тр. ТКЭ, в. 4 (1934). ³ Д. В. Навликин, Очерк геологии Туркестана. Ташкент, 1926. ⁴ В. А. Николаев, Зап. Всеросс. мин. общ., 62, № 2 (1933). ⁵ А. В. Пейве и А. Д. Смирнов, Сборн. Геология и полезные ископаемые Зеравш.-Гис. горной области. М.—Л., 1940. ⁶ А. В. Пейве, Изв. АН СССР, ОМОН, 1938. ⁷ А. В. Пейве, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1945). ⁸ В. И. Попов, История депрессий и поднятий Западного Тянь-Шаня. Ташкент, 1938. ⁹ Д. П. Резвой, ДАН, 93, № 5 (1952). ¹⁰ Д. П. Резвой, ДАН, 95, № 5 (1954). ¹¹ Н. М. Синицын, Изв. ВГРО, № 1 (1948). ¹² Н. С. Шатский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1946).

В. Ф. СОЛОВЬЕВ и Л. С. КУЛАКОВА

ПОДВОДНЫЙ ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН «БАНКА ГРЯЗНЫЙ ВУЛКАН» В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 15 II 1954)

В пределах мелководья восточного побережья Южного Каспия располагается ряд подводных грязевых вулканов, приуроченных к определенным тектоническим линиям. Одна из этих линий, протягивающаяся к западу от Челекена, была описана нами ранее ⁽²⁾. Не меньший интерес представляет тектоническая линия, вытянутая к югу от полуострова Челекена.

Южнее Челекена располагается остров Огурчинский и ряд подводных грязевых вулканов — банка Михайлова, банка Ульского, банка Грязный вулкан, банка 1908 г. и др.

Остров Огурчинский расположен в 12 км к югу от южной Челекенской косы и является как бы ее продолжением в южном направлении. Остров вытянут в меридиональном направлении, имеет в длину около 45 км и в ширину от 0,1 до 2—3 км. Восточная береговая линия острова почти прямая, западная — извилистая. Центральная часть острова имеет пересеченный рельеф, образованный закрепленными растительностью песчаными холмами. Северная и южная части острова несколько понижены. Северная часть отделяется от центральной зоной настоящей пустыни с песчаными барханами, достигающими 10—12 м высоты.

Тщательный осмотр о. Огурчинского показал, что последний сложен исключительно ракушечно-оолитовыми песками и ракушей. Выходы коренных пород на острове отсутствуют. Однако на западном берегу острова, особенно в северной и центральной его частях, были обнаружены многочисленные гальки коренных пород, состоящие главным образом из серых глин. Наличие этих глинистых галек коренных пород на западном берегу о. Огурчинского указывает, возможно, на существование в море западнее о. Огурчинского обнаженных участков дна, подвергающихся размыву и приуроченных к подводной структуре.

Банки Михайлова и Ульского по логиям ⁽¹⁾ характеризуются как подводные грязевые вулканы. Однако в настоящее время они себя никак не проявляют. Банка Михайлова расположена севернее о. Огурчинского. В настоящее время глубина на ней составляет 3,8 м. Прежние выбросы сопочной брекчий на банке размыты и в настоящее время покрыты сверху желтым ракушечно-оолитовым песком.

Водолазные спуски, произведенные на банке Ульского, показали, что глубина на самой банке составляет 3 м. Банка обладает довольно крутыми склонами, опускающимися до глубины 15 м. Здесь, как и на банке Михайлова, прежние выбросы сопочной брекчий размыты и в настоящее время покрыты ракушечно-оолитовым песком. Выбросов коренных пород не обнаружено.

Банка Грязный вулкан представляет действующий в настоящее время подводный грязевой вулкан. Глубина на банке составляет 9,5 м, тогда

как в 500 м от нее глубины достигают 28 м. Вулкан периодически, через 15—20 минут, выбрасывает мощные струи углеводородных газов, создающих на поверхности моря «кипящий котел». Сильное бурление продолжается около 15 минут, а затем утихает до нового выброса газов. Одновременно с газом выбрасывается глинистая муть, которая течением увлекается от вулкана на значительное расстояние. На поверхности воды имеется нефтяная пленка, а в воздухе ощущается резкий запах нефти.



Рис. 1. Выбросы коренных пород, собранные среди сопочной брекчии подводного грязевого вулкана „банка Грязный вулкан“

Водолазными работами на банке Грязный вулкан собраны выбросы сопочной брекчии (обр. 271) и коренных пород (обр. 272—287). Сопочная брекчия представляет собой тончайший илистый материал желтовато-серого цвета, известковистый, в натуральном виде жидкий; водолаз на дне утонул в сопочной брекчии на глубину до 1,0 м.

Выбросы коренных пород представлены глинистыми алевролитами светлосерого, серого и желтовато-серого цвета, известковистыми слабо-сцементированными, легко поддающимися разрушению. Представление о их размерах и форме дает рис. 1.

Исследование вещественного состава сопочной брекчии и алевролитов (табл. 1) устанавливает значительную их близость. Повидимому, сопочная брекчия состоит из отмученных морской водой пелитовых фракций алевролитов. Как видно из приведенной таблицы, алевролиты содержат от 15,5 до 23% растворимых карбонатов. Легкая фракция нерастворимого остатка обогащена зернами кварца, содержание которого достигает 68%. Тяжелая фракция состоит главным образом из рудных минералов, слюды и зерен выветрелых минералов.

Были произведены также микрофаунистические анализы сопочной брекчии и алевролитов с банки Грязный вулкан. Во всех образцах, при-

еденных в табл. 1, микрофауна не была обнаружена и лишь в образце 75 Д. А. Агаларова нашла единичные *Globigerina pseudobulloides* Plüm.

Таблица 1

Естественный состав коренных пород с банки Грязный вулкан в процентах*
(сопочная брекчия и глинистые алевролиты)

	Обр. 271, сопочная брекчия	Обр. 273, алевролит	Обр. 275, алевролит	Обр. 276, алевролит	Обр. 277, алевролит
1. Механический состав:					
фракция >0,25 мм	—	—	—	—	—
0,25—0,10 мм	0,35	0,25	1,42	0,12	0,13
0,10—0,01 мм	16,66	51,50	77,86	63,63	63,24
<0,01 мм	82,99	48,25	20,72	36,25	36,63
2. Химический состав					
нерастворимая часть	84	80	84,5	77	77
содержание карбонатов	16	20	15,5	23	23
3. Минералогический состав					
а) Легкая фракция	96,95	94,80	97,50	97,00	97,00
Кварц	65	60	68	68	67
Полевые шпаты	25	20	12	18	20
Обломки пород	10	20	20	15	13
б) Тяжелая фракция	3,05	5,20	2,50	3,00	3,00
пирит	14	1	2	7	1
магнетит; ильменит	5	6	31	25	13
лимонит	6	10	16	2	24
гранат	1	ед. зерн.	5	2	1
циркон	2	2	4	3	1
рутил	1	1	1	ед. зерн.	2
турмалин	1	2	2	6	—
биотит	1	5	1	2	меньше 1
зеленая слюда	—	60	24	31	36
роговая обманка	—	—	2	3	2
цоизит; эпидот, ставролит	—	—	—	ед. зерн.	—
ангидрит	ед. зерн.	—	ед. зерн.	—	—
глауконит	65(?)	—	—	—	—
выветрелые зерна	1	4	1	ед. зерн.	ед. зерн.
	3	9	11	20	20

* Механический и минералогический анализы были выполнены Г. Ю. Романовой по методу АзНИИ, т. е. навеска породы обрабатывалась холодной 10% соляной кислотой.

По своему внешнему виду алевролиты с грязевого вулкана Грязный вулкан могут быть отнесены к очень молодым образованиям, не древнее бакинского яруса.

Следует подчеркнуть, что между о. Огурчинским и берегом моря, т. е. в пределах всего Туркменского залива, а также в мелководной зоне, рас-

положенной южнее этого залива до Чикишляра, отсутствуют какие-либо признаки подводного грязевого вулканизма. Грязевые вулканы восточнее описанной тектонической линии появляются снова только на суше, где они вытягиваются в меридиональном направлении вдоль берега моря и обозначают Кеймир-Чикишлярскую тектоническую линию. В силу этого можно думать, что Туркменский залив и мелководье, расположенное южнее его, соответствуют обширному прогибу типа синклинория.

Институт геологических наук
Академии наук СССР

Поступило
10 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Пущин, Лоция Каспийского моря, СПб, 1908. ² В. Ф. Соловьев, ДАН 86, № 2 (1952).

Л. Ф. СОЛОНЦОВ

**К ВОПРОСУ О СТРАТИГРАФИЧЕСКОМ РАСЧЛЕНЕНИИ
ДОДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УРАЛО-ВОЛЖСКОЙ ОБЛАСТИ
И СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

(Представлено академиком С. И. Мироновым 18 II 1954)

В последние годы многочисленными материалами бурения установлено, что в Урало-Волжской области, под покровом фаунистически охарактеризованных отложений среднего девона, широко развиты мощные толщи осадочных образований, содержащих скудные органические остатки. Данные об этих образованиях частично опубликованы рядом исследователей (^{5, 7, 8, 10, 14}), но вопрос о стратиграфической увязке их с соответствующими отложениями западного склона Южного Урала и западных районов платформы должным образом еще не освещен. Задачей настоящей статьи является попытка хотя бы частично восполнить этот пробел. Выводы, изложенные в ней, основываются на изучении автором наиболее характерных разрезов додевонских осадочных образований Удмуртии, Башкирии, Татарии, Чкаловской, Куйбышевской и Пензенской областей и литературных материалов по этому вопросу. Эти выводы сведены в прилагаемую схему корреляции додевонских отложений Урало-Волжской области и смежных территорий.

Додевонские отложения выполняют глубокие депрессии докембрийского фундамента, окаймляющие восточный массив Сарматского щита (¹⁵). На востоке платформы они известны под названием бавлинской свиты. Наиболее полный разрез бавлинских отложений вскрыт буровыми скважинами на юго-востоке Татарии в Бавлинском районе, у д. Исергапово, где, как видно из приведенной схемы, бавлинская свита в полном разрезе имеет четырехчленное деление. К северу и к северо-западу от д. Исергапово, вверх по склону кристаллического массива, происходит последовательное выпадение из разреза нижних толщ додевонских отложений вплоть до полного их выклинивания.

Аналоги додевонских толщ Бавлинского района хорошо выделяются также в разрезах Башкирии, Удмуртии, Молотовского Приуралья, Саратовского Поволжья и других районов Урало-Волжской области. Различием в строении додевонских отложений юго-запада Башкирии (Копей-Кубово, Серафимовка) и Молотовского Приуралья (Краснокамск, Северокамск), с одной стороны, и юго-востока Татарии (Бавлы), с другой, является наличие в башкирском и молотовском разрезах в составе верхнебавлинской свиты верхнего комплекса переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов. Кроме того, в районе Северокамска отсутствует аналог нижней песчаниковой толщи бавлинского разреза. В Башкирском Приуралье (Карлы, Кинзенбулатово и др.) вскрыт буровыми скважинами лишь аналог верхнебавлинской свиты, известный под названием ашинской свиты. В Саратовском Поволжье (⁵) нижнебавлинская свита как и в Бавлинском районе, имеет трехчленное строение.

Додевонские отложения юго-востока Татарии по своему положению и последовательности залегания отдельных толщ в разрезе, а также по литологическому составу и мощности легко сопоставляются с додевонскими отложениями Пачелмского района. Пачелмский разрез додевонских образований отличается от бавлинского наличием между терригенно-доломитовой и верхней песчаниковой толщами еще двух толщ, отсутствующих в районе Бавлов: средней песчаниковой и нижней толщи переслаивания общей мощностью около 215 м.

Разрез додевонских отложений Пачелмского района, являясь наиболее полным из всех выше рассмотренных, в свою очередь легко сопоставляется с хорошо изученными разрезами додевонских образований, развитых в бассейне р. Инзер (^{11, 12}). Стратиграфическое положение в разрезе и общность ряда литологических признаков (карбонатный состав отложений, окремнение пород, наличие кремней и др.), позволили автору в 1952 г. сопоставить аргиллито-доломитовую толщу Пачелмы с миньярской свитой западного склона Южного Урала.

Вышележащие терригенные образования пачелмского и инзерского разрезов в обоих районах перекрыты песчаниками эйфеля (?) (такатинская свита и ее аналоги), залегающими под фаунистически охарактеризованными породами живетского яруса. В этих терригенных отложениях, ограниченных, таким образом, в разрезе такатинскими песчаниками и миньярскими терригенно-доломитовыми образованиями, отмечаются два цикла седиментации. Нижние толщи циклов (средняя и верхняя песчаниковые толщи района Пачелмы, урюкская и куркураукская толщи бассейна р. Инзер) в обоих районах преимущественно сложены красноцветными песчаниками, а на Южном Урале — и конгломератами. Верхние же толщи циклов сложены обычно часто переслаивающимися между собою песчаниками, алевролитами и аргиллитами, обладающими в основном серой и зеленовато-серой окраской. К тому же как нижняя толща переслаивания района Пачелмы, так и басинская толща бассейна на р. Инзер в нижней части обогащены глауконитом, а в середине представлены преимущественно аргиллитами.

Приведенные данные показывают, что аналоги додевонских отложений, развитых в бассейне р. Инзер и выделяемых во многих других разрезах западного склона Южного Урала (^{2, 11}), легко устанавливаются также во всех рассмотренных выше разрезах Урало-Волжской области и Пачелмского прогиба. Имеющиеся в настоящее время многочисленные материалы бурения показывают, что верхнебавлинские отложения на крайнем востоке Русской платформы увязываются с ашинскими образованиями, вскрытыми в Предуральском прогибе. Далее на восток последние замещаются зиганскими породами ашинской серии западного склона Южного Урала. Наличие и других аналогов уральских додевонских образований, с инзерской свиты до куркураукской толщи включительно, в разрезах Пачелмы и востока платформы дает возможность предполагать присутствие их и в разрезах Предуральского прогиба, связывающих разрезы западного склона Урала и Русской платформы. Все это позволяет рекомендовать для додевонских толщ Урало-Волжской области и Пачелмского прогиба наименования, принятые для соответствующих толщ уральской схемы, подобно тому, как это принято для додевонских отложений востока Русской платформы.

Наиболее древними из непосредственно покрывающих ашинские отложения образований (д.д. Максютново, Кага на р. Белой и др.) являются отложения верхней половины ордовика, содержащие морскую фауну (^{3, 9, 11}). Подстилающие же ашинские образования миньярские породы могут быть отнесены к верхнему протерозою, как завершающие протерозойский этап осадконакопления (^{1, 4}). В таком случае, возрастные границы самой ашинской серии находятся между верхним протерозоем и началом нижнего силура. Если же принять во внимание, что ашинские

МЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ово—Серафимовка	Краснокамск—Северокамск По данным Е. К. Ларионовой		Западный склон Южного Урала (р.р. Б. Инзер—Баса) По данным А. И. Олли		
хний сероцвет- комплекс пере- зания песчаников, олитов и аргилли-	Верхнебавлинская свита	Верхний пестроцвет- ный комплекс переслаи- вания песчаников, алевролитов и аргил- литов 343 м	Зиганская толща	Аргиллиты тонкосло- истые, зеленовато-се- рые (плохая обнажен- ность) 95 м	А ш и н с к а я с в и т а
88—100 м		Комплекс темносе- рых песчаников и але- вролитов 116—120 м		Песчаники серые и зеленовато-серые 155 м	
строцветный ком- с кварцево-поле- ватых песчани-		Нижний сероцветный комплекс переслаива- ния песчаников, але- вролитов и аргиллитов 471—493 м		Переслаивание серо- цветных песчаников, алевролитов и аргил- литов 140 м	
88—105 м	Н и ж н е б а в л и н с к а я с в и т а	перерыв	Куркурауская толща	Красноцветные пес- чаники и конгломера- ты 265—275 м	
ний сероцветный комплекс переслаива- песчаников, але- вров и аргиллитов 95—115 м		Толща розовых и бе- лых песчаников Северокамск — 37 м Краснокамск — вскр. 139		перерыв (?)	
перерыв		Северокамск — от- сутствует	Басинская толща	Аргиллиты серые 300 м	
лща красновато- чных и розовых аников рафимовка — 83 и е 143 м пей-Кубово—вскр. м		Краснокамск — не вскрыто		Переслаивание серо- цветных песчаников, алевролитов и аргил- литов 150 м	
рафимовка — от- вует		Северокамск—отсут- ствует Краснокамск — не вскрыто	Урюкская толща	Песчаники и конгло- мераты 100—105 м	
пей-Кубово — не ыто	Н и ж н е б а в л и н с к а я с в и т а	Толща песчаных до- ломитов и доломито- вых песчаников Северокамск — 22 м Краснокамск — не вскр.	Доломиты и доломитизиро- ванные известняки до 450 м		Миньярская свита
рафимовка — от- вует пей-Кубово — не ыто		Северокамск — от- сутствует Краснокамск — не вскрыто	Нет данных. В соседних районах песча- ники инзерской свиты		Инзерская свита
пей-Кубово — не ыто		перерыв			
е вскрыто	Кристаллический фунда- мент				

отложения Пачелмского прогиба по своему положению в разрезе, литологической характеристике и видовому составу спор могут быть сопоставляемы с нижнекембрийскими образованиями Прибалтийской и Московской синеклиз (¹³), то возраст всей ашинской серии следует считать как нижнекембрийский. Встреченные же местами в ашинских отложениях растительные остатки псилофитового облика (^{2, 7}) не могут противоречить их кембрийскому возрасту, поскольку споры псилофитов обнаружены в настоящее время даже в докембрийских образованиях (⁶).

Геологический институт
Казанского филиала Академии наук СССР

Поступило
18 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Г. Гарань, УГУ, геол. и полез. ископ. Урала, в. 1 (1947). ² С. М. Домачев, Тр. ВНИИГРИ, в. 61 (1952). ³ Б. М. Келлер, Тр. ИГН, в. 104 (1949). ⁴ Б. М. Келлер, Тр. ИГН, в. 109 (1952). ⁵ М. Г. Кондратьева, И. И. Енуров, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1951). ⁶ А. Н. Криштофович, Путник полевого геолога-нефтяника, Гостоптехиздат, 1952. ⁷ Е. Н. Ларионова, Известия нефт. техники, нефт. дело, сб. 9 (1951). ⁸ Е. Н. Ларионова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1949). ⁹ К. А. Львов, А. И. Олли, Зап. Всер. мин. б-ва, 64 (1935). ¹⁰ М. Ф. Микрюков, К. Р. Тимергазин, Нефт. хоз., № 9 (1948). ¹¹ А. И. Олли, Древние отложения западного склона Урала, 1948. ¹² А. И. Олли, Уч. зап. Саратов. ун-ва, 15, в. 2 (1940). ¹³ И. Е. Постникова, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1953). ¹⁴ П. П. Соколова, Л. Г. Гмид, Тр. Инст. нефти АН СССР, I, в. 1 (1949). ¹⁵ Н. С. Шатский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1952).

П. Е. ХАРИТОНОВ

О РЕГИОНАЛЬНЫХ РАЗЛОМАХ В ПРЕДЕЛАХ ЭМБЕНСКОЙ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

(Представлено академиком С. И. Мироновым 11 II 1954)

Идея о наличии разломов кристаллического фундамента в Прикаспийской впадине высказывалась еще А. П. Карпинским ⁽¹⁾ и П. А. Правотавлевым ⁽²⁾. В последнее время Н. А. Калинин на территории эмбенской солянокупольной области выделил три субмеридиональных разлома, из которых восточный назван Тамдыкульским, средний — Иманкаринским и западный — Каратонским.

Занимаясь изучением геоструктуры юго-восточной части Прикаспийской впадины, мы также пришли к мысли о наличии здесь трех дислокационных линий. Примечательно, что трассы последних, за исключением северных своих частей, примерно совпадают с линиями разломов, наметенных Н. А. Калининым. В связи с этим для двух из них (Каратонского и Иманкаринского) сохранено прежнее наименование. Третий, самый восточный разлом, назван нами Донгелексорским.

Каратонский разлом на юге прослеживается несколько западнее Тугакчана, затем трассируется через устье р. Эмбы к г. Гурьеву и далее на север через Калмыково до оз. Челкар. Средний Иманкаринский разлом на юге проходит у горы Шульмра, идет на СЗ к горе Иманкаре и от низовья р. Сагиза поворачивает к ССЗ в район р. Уила. Донгелексорский разлом начинается у Чаграйского плато, затем прослеживается в направлении в Донгелексору, а на правом берегу р. Сагиза, так же как и Иманкаринский, плавно поворачивает к ССЗ, уходя в верховье р. Уила.

Существование выделенных дислокационных линий подтверждается геологическими, геофизическими и геоморфологическими данными.

Каратонский разлом. Геологические доказательства заключаются в анализе зоны разлома: 1) мощностей мезозоя, 2) глубин довершин соляных штоков, 3) наличия прорванных куполов и 4) простирающийся солянокупольных структур. Быстрое нарастание мощностей мезозоя наиболее четко прослеживается на северо-восточном побережье Каспийского моря в низовье р. Эмбы. Здесь на небольшом расстоянии мощность горы увеличивается от 320 до 800 м, неокома от 120 до 400 м, апта, альба (сеномана (суммарно) от 310 до 750 м и верхнего мела (без сеномана) от 150 до 450 м. Это обстоятельство мы ставим в связь с предполагаемой здесь флексурой по мезозою. В южной части Каратонского разлома наблюдается резкое увеличение глубин до вершин соляных штоков, от 200 м Алтыкулак, Кылкудук) до 1800 м (Тереньзук), 1900 м (Каратон), 500 м (Азангул). Почти 10-кратное увеличение глубин до соляных штоков необходимо поставить в связь не только с выклиниванием галогенных сложений, но и с общим опусканием территории.

По линии Каратонского разлома располагаются и два единственных в этом районе прорванных купола (Карачунгул, Черная речка). Прости-

рания куполов Кызлкудука, Асанкеткена, Черной речки, вытянутых параллельно разлому, являются косвенным доказательством его наличия. Наконец, существование Каратонского разлома подтверждается картографическим изменением амплитуд гравитационных аномалий. Как видно из карт (см. рис. 1), максимальные значения упомянутых амплитуд точно ложатся на линию разлома. В условиях Эмбенской области амплитуды гравитационных аномалий отображают физическую картину перераспределения соли, которое естественно будет максимальным в участках с более напряженной тектонической жизнью, т. е. в зоне тектонических разломов.

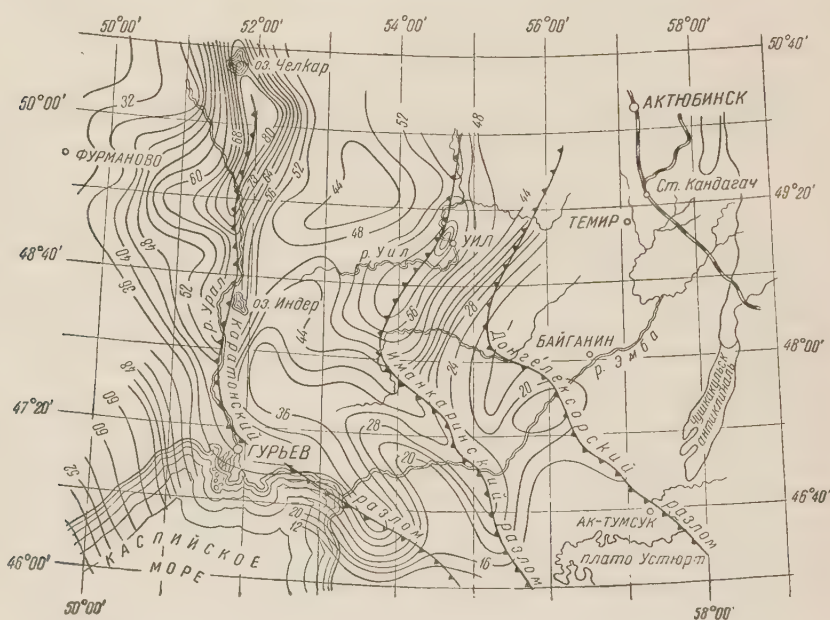


Рис. 1. Карта изменения амплитуды гравитационных аномалий

Иманкаринский разлом. Как и для Каратонского разлома наблюдается резкое нарастание мощностей мезозоя в поперечном направлении к его простиранию. Последнее для Средней Эмбы выражается в юре от 190 до 635 м, неокому от 190 до 307 м, апту, альбу и сеноман (суммарно) от 165 до 623 м и для верхнего мела (без сеномана) от 15 до 464 м. Такое значительное увеличение мощностей необходимо объяснить наличием флексуры. Существование Иманкаринского разлома подтверждается простиранием солянокупольных структур, расположенных цепочками параллельно его линии (Таганская и Акчелекская гряды). Наличие его также указывает резко выраженная граница между меловыми и четвертичными отложениями, протягивающаяся по разлому почти на 300 км к северу от 48-й параллели. Характерно, что Иманкаринский разлом, так же как и Каратонский, подтверждается и геофизическими данными, поскольку в его направлении располагается четко выраженная полоса наибольших амплитуд гравитационных аномалий (см. рис. 1). Положение этого разлома соответствует и четко выраженному в современном рельефе абразионному уступу Хвалынского моря.

Донгелексорский разлом. К геологическим фактам, подтверждающим наличие Донгелексорского разлома, по нашему мнению относятся: 1) особенность распространения сарматских отложений; 2) различие в проявлениях солянокупольной тектоники к востоку и западу от него; 3) увеличение мощности мезозойских отложений в зоне разлома. Сарматские отложения имеют спорадическое распространение ЮЗ от Донгелексорского разлома и отсутствуют к СВ от него. В зоне

разлома сармат наблюдается в виде разобитенных пятен на останцах, в межкуповольных грабенах (Чиркала, Каскыртау) и представлен в терригенной прибрежной фации.

Весьма показательно различие морфологического строения куполов к востоку и западу от разлома. В первом случае структуры имеют обшир-

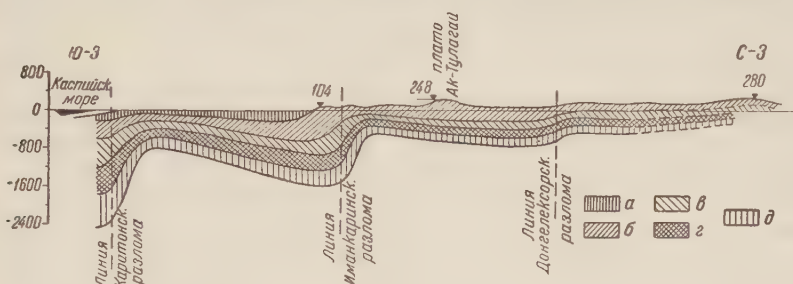


Рис. 2. Схематический геологический профиль через Эмбенскую солянокупольную область. а — третичные и четвертичные отложения, б — верхнемеловые отложения (без сеномана), в — аптские, альбские и сеноманские отложения, г — неокомские отложения, д — юрские отложения

ные размеры, расплывчатые очертания, слабую нарушенность дизъюнктивами и обнажены в своде только до альб-сеномана. К западу от разлома соляные купола, наоборот, резко очерчены, невелики по площади, сильно разбиты дизъюнктивами и в своде их почти всегда обнажена юра. При прочих равных условиях (мощности соли, надсолевых отложений и т. д.) разница в морфологии куполов объясняется значительно большей опущенностью по разлому западной части территории по отношению к восточной. Характерно некоторое увеличение в зоне разлома мощностей юры (до 400 м), неокома (до 214 м), апта, альба и сеномана (до 270 м), верхнего мела (без сеномана) до 200 м (в среднем на 20—25%) по отношению к соседним площадям. К сожалению, в связи с отсутствием гравиметрических съемок, Донгелексорский разлом пока нельзя подтвердить геофизическими данными.

Описанные дислокационные линии в осадочном комплексе отложений рассматриваются нами в виде различно выраженных флексур, которые ниже, в кристаллическом фундаменте, повидимому, сменяются разломами.

Анализ мощностей мезозоя доказывает постоянную тенденцию Эмбенской обл. к опусканию. При этом опускание наибольшее для южных и относительно меньшее для северных районов упомянутой территории. Весьма характерно, что относительная интенсивность опускания Южной Эмбы по сравнению с Северной Эмбой не оставалась постоянной, а прогрессивно нарастала с течением времени. Сказанное достаточно наглядно иллюстрируется сравнительным анализом мощностей (см. табл. 1).

Из приведенных цифр видно, что если для южно-эмбенской юры имеется только 2-кратное увеличение мощностей по сравнению с Северной Эмбой, то для нижнего мела оно 3 кратное, для верхнего мела — почти 4-кратное, а для третичных отложений — 20-кратное. Обращает на

Таблица 1

Стратиграфические единицы	Макс. мощности отложений в м		Южн. Северн. в %
	Южн. Эмба	Сев. Эмба	
Юра	820	390	210
Неоком	480	170	283
Апт+альб+сеноман	860	260	330
Верхний мел (без сеномана)	490	130	380
Третичные отложения	1400	70	2000

себя внимание резкий скачок в изменении мощностей кайнозойских отложений по отношению ко всему мезозою в целом.

Анализ карт изопакит мезозоя показывает, что территориально увеличение опускания происходило не постепенно, а скачкообразно в местах описанных выше разломов. Последнее привело к ступенчатому строению Эмбенской обл. со ступенями, закономерно понижающимися от Мугоджар к Каспию. Наглядное представление о результатах указанного процесса к настоящему времени дает приведенный здесь профиль (см. рис. 2). Выделенные тектонические ступени можно назвать (от Мугоджар к Каспию): Верхнеэмбенской, Среднеэмбенской и Нижнеэмбенской.

Ступенчатое опускание указанной области и расколы кристаллического фундамента явились разрядкой напряжений, созданных в результате прогибания всей Прикаспийской впадины в целом. Анализ мощностей кайнозоя и мезозоя показывает, что зона наибольшего прогибания для изученной территории всегда находились в пределах Южной Эмбы.

Указанные разломы, по всей вероятности, были заложены еще в доюрское время и унаследованно развивались в течение мезозоя и кайнозоя.

Саратовский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского

Поступило
28 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. П. Карпинский, Очерки геологического прошлого Европейской России, Изд. АН СССР, 1947, стр. 125, 143, 146—147, 167. ² П. А. Православлев, Тр. Нефт. геол.-развед. инст., сер. Б, в. 2, 55 (1932).

МИНЕРАЛОГИЯ

Б. Б. ЗВЯГИН и Е. И. НЕФЕДОВ

О КУКЕИТЕ

(Представлено академиком А. А. Полкановым 22 II 1954)

В одной из крупнейших жил пегматита на северо-западе СССР обнаружен кукеит в парагенезисе с липедолитом, литийсодержащим турмалином, микроклином, альбитом и кварцем. Кукеит образован за счет липедолита, среди крупных пластин которого он находится в виде плоских мономинеральных выделений неправильной формы, размером до $3 \times 4 \times 5$ см.

Микроскопическое исследование агрегатов кукеита показало, что они состоят из изометричных, ксеноморфных зерен, размером около 0,1 мм в диаметре, и совершенно не содержат примеси других минералов.

Цвет кукеита в куске серо-зеленый, цвет порошка белый; удельный вес 2,58; твердость 3,5. Не плавкий. Спайность весьма совершенная, слюдистая.

Оптически двуосный, $+2V = 55^\circ$. $N_g \perp$ к плоскости спайности. $N_p = 1,575 \pm 0,002$; $N_m = 1,584 \pm 0,002$; $N_g = 1,600 \pm 0,002$; $N_g - N_p = 0,025$.

По кривой нагревания минерала (В. П. Иванова) наблюдается эндотермический эффект от 400 до 530° , переходящий в интенсивный, также эндотермический эффект, заканчивающийся при 620° . При 850° установлена экзотермическая реакция (см. рис. 1).

Обезвоживание минерала (В. П. Иванова) при помощи термическо-весовой установки показало, что до 440° потери веса минерала не происходит. Выделение воды фиксируется в интервале $440-460^\circ$ в количестве 1% и от 540 до 700° 2% от навески минерала.

В табл. 1 приведены результаты химического анализа исследованного кукеита (М. М. Стукалова), которые пересчитаны с учетом приводимых ниже структурных данных для вывода его структурной формулы (метод пересчета см. (1)).

Спектральный анализ минерала показал, помимо элементов, указанных в химическом анализе, незначительную примесь бериллия, цинка и меди.

В табл. 2 приводятся результаты исследования порошкограммы кукеита, произведенного Г. А. Ковалевым. Технические условия опыта:

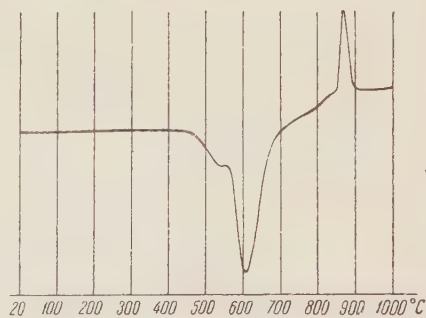


Рис. 1

Таблица 1

	Вес, %	Молек. колич.	Соответств. колич. катио- нов и групп (ОН)	Валентн. катионов	Колич. катионов и групп (ОН) при сум- марн. валентности катионов 28
SiO ₂	33,31	0,555	0,555	2,220	3,0
TiO ₂	сл.	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	44,16	0,443	0,866	2,598	4,66
Fe ₂ O ₃	1,72	0,011	0,022	0,066	0,12
FeO	1,69	0,024	0,024	0,048	0,13
MnO	0,18	0,003	0,003	0,006	0,016
CaO	нет	—	—	—	—
MgO	0,37	0,009	0,009	0,018	0,05
K ₂ O	0,67	0,007	0,014	0,014	0,08
Na ₂ O	0,70	0,011	0,022	0,022	0,12
Li ₂ O	3,40	0,110	0,220	0,220	1,20
			Итого. . .	5,212	
F	нет	нет			
H ₂ O	13,19	0,732	1,464		8,00
H ₂ O гигр.	0,46	—	—	—	—
Сумма. . .	99,85				

Таблица 2

№№ линий	I	d _{рент}	d _{выч}	hkl	№№ линий	I	d _{рент}	d _{выч}	hkl
1	5	6,9	7,05	002	19	8*	[1,69]	1,65	137
2	7	4,67	4,72	003				1,62	206
3	4	4,48	4,47	020, 110	20	4	1,538	1,57	009
4	2	3,88						1,52	137
5	9	3,52	3,54	004	21	9*	1,491	1,49	060, 331, 138
6	1	(3,35)	—					1,48	330, 332, 207
7	1	3,11	—		22	2	1,456	1,46	062, 333
8	[7]	2,81	2,83	005				1,45	331
9	[9]	2,57	2,57	201, 130, 131, 202	23	4*	1,419	1,44	209
			2,55	200, 131				1,42	063
10	8	2,51	2,52	202	24	3	1,374	1,41	0, 0, 10, 332
			2,50	131				1,37	064
11	10	2,32	2,36	006	25	7	1,299	1,36	208, 333
			230	202				1,30	139, 334
12	1	2,22	2,24	040, 133				1,29	0, 0, 11, 260
			2,23	204	26	3	1,253	1,28	400, 262
			2,22	220				1,26	209, 066, 337
13	1	(2,16)			27	4	1,231	1,25	335
14	3	2,02	2,02	007, 134				1,24	170
15	8	1,96	1,98	135, 135	28	1	1,113	1,23	350, 420
			1,94	204				1,12	080
16	1	1,86	1,87	206	29	3	1,101	1,11	440
			1,84	135				1,09	0, 0, 13, 2, 0
17	2	[1,80]	1,77	008					11, 3, 3, 10
18	4	1,69	1,69	150, 240				1,08	069
			1,68	136	30	2	1,072	1,07	338
			1,67	310	31	4	1,024	1,02	370, 280
								1,01	0, 0, 14

Примечания. * Размытые линии, промеренные в наиболее интенсивной части () беталинии; [] предполагаемое наложение бета- и альфа-линий.

Fe — антикатод, $D = 57,3$ мм, $d = 0,5$ мм; 35 кв, 12 ма, экспозиция 5 часов. В графе $d_{\text{выч}}$ приведены результаты отражений от плоских сеток, указанных в графе hkl , вычисленные Б. Б. Звягиным по параметрам элементарной ячейки на основании электронографических исследований.

Электронографическое исследование кукеита проводилось на электронографе ЭМ-4 конструкции ГОИ.

Благодаря совершенной слюдоподобной спайности кукеита вдоль плоскостей (001), обуславливающей тонкопластинчатую форму частиц, препараты кукеита являются текстурированными поликристаллами, в которых отдельные кристаллики параллельны друг другу своими плоскостями (001) при произвольной ориентировке кристаллографических направлений этих плоскостей.

Анализ электронограмм, полученных от этих препаратов, показал, что кукеит обладает моноклинной решеткой, характеризующейся следующей элементарной ячейкой: $a = 5,17 \pm 0,02 kX$; $b = 8,94 \pm 0,01 kX$; $c = 14,3 \pm 0,4 kX$; $\beta = 98^\circ 45' \pm 30'$.

Рентгеноструктурным анализом, согласно (5), получены для элементарной ячейки кукеита значения $a = 5,13 kX$, $b = 8,93 kX$, $c \sin \beta = 28,30 kX$, $\beta \sim 90^\circ$, $Z = 4$.

Отметим, что рефлексы 1-го эллипса в электронограммах кукеита не были различимы в отдельности. В соответствии с (4) это указывает на то, что строгой повторяемости слоев в направлении оси C для его структуры нет, а существует лишь приблизительная повторяемость. Полученное на основании промера расположения рефлексов 2-го и 5-го эллипсов значение C характеризует минимальный период, соответствующий лишь одному слоевому пакету*. Таким образом, в основных чертах результаты рентгеновского и электронографического исследований согласуются. Имеются лишь небольшие различия для периода a и b , кроме того, для исследованного нами кукеита не подтвердилась повторяемость в направлении оси C с периодом в два слоевых пакета. В обоих случаях полученные величины, в особенности значение минимального периода C , свидетельствуют о том, что кукеит обладает структурой хлоритового типа, построенной из слоевых пакетов, состоящих из одного слюдоподобного и одного брусито-гидрагиллитоподобного слоев.

На основании данных химического анализа для кукеита была выведена предельная структурная формула $\text{LiAl}_4\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_8$, которая соответствует предельной структуре из чередующихся отрицательно заряженных мусковитоподобных слоев: $[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{20}(\text{OH})]^{-1}$ и положительно заряженных гидрагиллитоподобных слоев: $[\text{LiAl}_2(\text{OH})_6]^{+1}$.

Структурная формула исследованного кукеита, рассчитанная на основании приведенного выше химического анализа, имеет вид:



Число молекул Z в элементарной ячейке, вычисленное по значениям объема элементарной ячейки $v = abc \sin \beta$ молекулярного веса M , соответствующего выведенной структурной формуле, и удельного веса $\rho = 2,58$ г/см³ (согласно определению М. М. Стукаловой) оказалось равным

$$Z = \frac{\rho v}{M} = 1,93 \approx 2.$$

* Под слоевым пакетом мы понимаем группу слоев различного типа, повторяемость которой образует решетку.

Равенство Z почти в точности целому числу говорит о полном согласии полученных независимо друг от друга результатов химического анализа, определения удельного веса и электронографического исследования кукеита и подтверждает их справедливость.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт
Ленинград

Поступило
7 XII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Ф. Викулова, Б. Б. Звягин, И. В. Иогансен, В. И. Михеев. Тр. ВСЕГЕИ, Матер. по геол. Европ. части СССР, 1952. ² А. И. Гинзбург. О литиевом хлорите-кукеите, ДАН, **90**, № 5, 871 (1953). ³ Б. Б. Звягин, ДАН, **86**, № 1, 149 (1952). ⁴ Б. Б. Звягин, Сборн. ВСЕГЕИ, посвященный XIX съезду КПСС. ⁵ A. Grammal, J. G. C. Leech, F. A. Bannister, Min. Mag., **24**, N 157, 507 (1937).

ПЕТРОГРАФИЯ

Н. П. СТАРКОВ, А. Н. КОБЯК и П. Н. ЧИРВИНСКИЙ

К ПЕТРОГРАФИИ ПОРОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА
МОЛОТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

(Представлено академиком С. И. Мироновым 18 II 1954)

На территории Молотовской области породы кристаллического основания были вскрыты впервые в 1950 г. на Северо-Камском поднятии в 30 км к СВ от г. Молотова. Их абсолютная глубина равна 2854 м. Краткое сообщение об этих породах имеется в работе Е. Н. Ларионовой⁽²⁾, которая произвела общую стратиграфическую характеристику разреза по данным бурения северокамской скважины.

Кристаллический фундамент на этом участке представлен биотитовыми гнейсо-гранитами (Е. Н. Ларионова называет их гнейсами). По внешнему виду они серовато-розовые, неравномерно-зернистые, с крупными выделениями (более 1 см) полевых шпатов. Порода свежая, на плоскостях спайности полевых шпатов выражен стеклянный блеск. Текстура породы гнейсовидная.

Минералогический состав гнейсо-гранитов представлен: кварцем, олигоклазом, микроклином, биотитом, мусковитом, роговой обманкой, магнетитом, ильменитом, гематитом, серицитом, кальцитом, апатитом, цирконом, лейкоксеном.

Кварц присутствует в виде вытянутых ксенобластов размерами от 0,3 до 6,0 мм, выдерживающих одинаковую оптическую ориентировку в большинстве зерен. Содержит в себе газовые включения и несет следы катаклаза.

Олигоклаз имеет изометричную или таблитчатую форму зерен. В незначительной степени пелитизирован, серицитизирован и участками покрыт гидроокислами железа. Присущи двойники с тонкой полисинтетической штриховкой. При исследовании на федоровском столике были получены следующие координаты; $BN_g = 6,5^\circ$; $BN_m = 84^\circ$; $BN_n = 88^\circ$. Закон двойникования $\perp (010)$. Угол погасания в зоне $\perp (010)$: $N_p = 5^\circ$, $n_m > n_{к.б.}$. Указанные константы отвечают олигоклазу № 24. Его основность с глубиной незначительно увеличивается до № 27.

Калиевый полевой шпат представлен решетчатым микроклином. Зерна свежие, прозрачные, с пертитовыми вростками альбита. Кроме того на значительной части зерен по периферии и в центре развит мирмекит.

Биотит находится в виде темных плеохроирующих чешуек, замещающихся с периферии мусковитом.

Обыкновенная роговая обманка встречена лишь в одном из шлифов в единичных зернах размером 0,1 мм. Цвета плеохроизма по N_g — травяно-зелёный, N_p — желтый. $N_g - N_p = 0,018$. $C : N_g = 14^\circ$.

Магнетит и ильменит присутствуют иногда совместно и различаются в отраженном свете по лейкоксену вокруг ильменита.

Гематит находится в мельчайших чешуйках, просвечивающих в тонких краях вишнево-красным цветом. Включен в плагиоклаз.

Апатит и циркон имеют зерна призматического облика размерами от 0,10 до 0,22 мм и включены в кварц и полевые шпаты.

• Структура гнейсо-гранитов blastsгранитовая, катакластическая. Иногда переходит в blastsцементную.

При помощи интеграционного столика был определен количественно-минералогический состав породы в шлифах. Результаты определений (в весовых процентах) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Минералы	Глубина в метрах		
	2985,6—2988,4	2989,2—2990,1	
	1. (средн. из 3)	2. (средн. из 3)	3. (средн. из 2)
Кварц	24,47	22,25	22,27
Микроклин	24,08	24,94	24,24
Олигоклаз	33,69	36,74	35,87
Биотит	6,03	12,71	14,04
Серицит	0,64	0,09	0,10
Магнетит	0,84	1,27	0,97
Ильменит	—	—	0,53
Кальцит	0,12	1,33	1,15
Апатит	0,05	0,58	0,73
Циркон	0,08	0,09	0,10
Сумма	100,00	100,00	100,00
Удельн. вес породы			
Вычисл.	2,651	2,683	2,685
Опред. прямым путем	—	—	2,684

Таблица 2

Окислы	Глубина 2985,6—2988,4 м			Онежский гранит	Глубина 2989,2—2990,1 м				
	1	2	3		5	6	7	8	9
SiO ₂	71,80	73,49	71,28	70,68	66,22	66,89	65,41	66,86	66,51
TiO ₂	0,05	0,07	0,31	0,28	0,47	0,47	0,45	0,48	0,82
Al ₂ O ₃	13,71	13,99	15,33	15,57	15,72	15,83	15,58	16,91	15,57
Fe ₂ O ₃	1,53	0,21	1,56	0,24	1,88	2,24	2,12	1,81	0,98
FeO	1,37	0,94	1,39	2,12	2,92	2,41	2,10	2,40	2,46
MnO	1,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06
MgO	0,63	0,72	0,62	0,68	1,19	1,06	1,68	1,14	1,18
CaO	2,01	2,29	2,51	2,30	2,78	2,86	3,52	3,47	2,86
Na ₂ O	3,75	3,61	3,48	4,15	3,70	3,31	3,87	2,22	3,73
K ₂ O	3,47	3,29	3,02	3,49	2,63	3,07	3,76	3,31	4,53
H ₂ O ⁺	1,34	0,26	0,87	0,53	2,09	1,77	0,56	1,89	0,39
P ₂ O ₅	0,13	0,02	—	—	0,17	—	0,31	0,25	0,25
CO ₂	—	0,06	—	—	—	—	0,51	—	0,58
S	0,05	—	—	0,01	0,02	—	—	0,05	—
ZrO ₂	—	0,05	—	—	—	—	0,07	—	0,06
F	—	—	—	—	—	—	0,02	—	0,02
Сумма	99,86	100,00	100,40	100,08	99,85	99,94	100,00	100,82	100,00

Примечания: 1 — верхняя часть интервала. Аналитик Н. С. Чурилин. 2 — геометрико-химический пересчет (среднее из 3). 3 — средняя часть интервала. Аналитик А. Н. Кобяк. 4 — Онежское оз. Кашинский массив. Розовый гранит по В. М. Тимофесву (3) приводится нами для сравнения. 5 — нижняя часть интервала. Аналитик А. Н. Кобяк. 6 — то же. 7 — нижняя часть интервала, геометрико-химический пересчет (среднее из 2). 8 — нижняя часть интервала. Аналитик Н. Н. Кобычева. 9 — нижняя часть интервала, геометрико-химический пересчет (среднее из 3).

Табл. 2 дает химический состав северокамских гнейсо-гранитов (в весовых процентах).

Количественно-минералогический и химический составы гнейсо-гранитов дают нам право выделить среди них две разновидности, из которых первая (кровля гнейсо-гранитов) отвечает составу нормального гранита, а вторая (глубина 2988—2990,1 м) приближается по составу к «адамеллитам» Б. М. Куплетского (1).

Очевидно здесь мы имеем дело с первично-расслоенной структурой кислого плутона. Первичная расслоенность постепенная.

Наши гранитоиды чрезвычайно сходны с онежскими гранитами, образцы которых мы могли исследовать лично по коллекционным сборам, а также по данным, приведенным в книге В. М. Тимофеева (3).

Резюмируя, можно сказать, что северокамские биотитовые гнейсо-граниты представляют собой относительно слабо измененные первичные гранитоиды, сходные с онежскими розовыми гранитами.

Молотовский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
12 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. М. Куплетский, Вопросы петрографии и минералогии. Количественно-минералогический состав гранитоидов. Изд. АН СССР, 1953. ² Е. Н. Ларионова, Нов. нефт. техн., № 9 (1951). ³ В. М. Тимофеев, Петрография Карелии, Изд. АН СССР, 1935.

Б. А. ТИХОМИРОВ и Л. А. КУПРИЯНОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЬЦЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ
ПИЩИ БЕРЕЗОВСКОГО МАМОНТА

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 27 II 1954)

На севере Сибири было найдено свыше 40 остатков мамонтов и носоготов разной степени сохранности. Однако только замечательная находка трупа мамонта на р. Березовке, притоке Кодымы (Якутия), с сохранившейся пищей в желудке дает ценный материал для выяснения вопроса о питании мамонта и восстановления растительного покрова прошлого. Остатки пищи березовского мамонта подвергались ботаническому изучению В. Н. Сукачевым ⁽¹⁾, установившим, что основу пищи мамонта составляют не хвойные, как полагали раньше, а травянистые растения — главным образом злаки и осоки. В. Н. Сукачев с достоверностью определил следующие виды сосудистых растений, часто встречающиеся в содержимом желудка: *Alopecurus alpinus* Sm., *Agropyrum cristatum* (L.) Bess., *Beckmannia cruciformis*, (L.) Host., *Hordeum violaceum* Boiss. et Neut. и *Carex lagopina* Wahlb. и виды, представленные в небольшом количестве: *Ranunculus acris* L., *Oxytropis sordida* (Willd.) Graebn., а также остатки некоторых других растений, видовую и даже родовую принадлежность которых в виду плохой сохранности точно установить не удалось (*Agrostis* sp., *Carex* sp., *Gramina* gen. et sp.?). Нескольким семенам напоминали семена *Papaver nudicaule* L., а три маленьких плодика были схожи с орешками *Thymus serpyllum* L., однако точно определить их автору не представилось возможным. Из пищи березовского мамонта Бротерус опознал еще два вида мхов: *Hypnum nitens* (Dill.) L. и *Aulacomnium turgidum* (Wahlb.) Schwaegr. Под левым бедром мамонта были обнаружены части ветви и коры *Larix* sp., усок ствола *Betula alba* (s. l.) и кора *Alnus* sp.

В связи с тем, что спорово-пыльцевый метод в последнее время широко применяется для восстановления растительного покрова прошлых эпох, нами сделана попытка исследовать пыльцу из остатков пищи мамонта. При любезном содействии директора Зоологического института АН СССР академика Е. Н. Павловского мы воспользовались уникальным образцом содержимого желудка березовского мамонта. Для исследования был взят образец сухой пищи мамонта, темнобурого цвета, состоящий из пережеванных растительных остатков, весом около 1 г. Попадание пыльцы извне было исключено, так как образец был вырезан из середины куска, сохранявшегося в герметически закупоренном и залитом парафином стеклянном сосуде. Результаты проведенного Л. А. Куприяновой спорово-пыльцевого анализа растительных остатков содержимого желудка березовского мамонта приведены в следующем предварительном списке (табл. 1).

Как видно из таблицы, преобладающее количество пыльцы в исследованном образце принадлежит злакам. В 52 препаратах было обнаружено 7966 пыльцевых зерен злаков (97,09%), 13 зерен древесных пород (0,17%), 219 зерен (2,67%) травянистых видов представителей 2 семейств и 7 спор мхов и папоротников (0,07%). Обращает на себя

внимание значительное количество недоразвитых пыльцевых зерен злаков. Из подсчитанных 7966 зерен, около 3000 (38,8%) оказалось недоразвившимися. Кроме того, в образце отмечено огромное количество нераспавшихся пыльцевых скоплений, состоящих из незрелой пыльцы злаков. Наличие значительных количеств недоразвитой пыльцы злаков может дать повод к заключению, что мамонт погиб в начале лета.

Таблица 1

Состав пыльцы содержимого желудка березовского мамонта

Название растений	Число пыльц. зерен	Название растений	Число пыльц. зерен
Древесные породы	13	27. Melandrium sp.	3
Сем. Pinaceae	4	Сем. Ranunculaceae	2
1. Abies sibirica Lbd.*	4	28. Caltha palustris L.	2
Сем. Betulaceae	7	Сем. Cruciferae	18
2. Alnus incana (s. l.)*	3	29. Cruciferae sp.	18
3. Betula verrucosa Erhart* . .	4	Сем. Rosaceae	14
Сем. Salicaceae		30. Sanguisorba officinalis L.* .	8
4. Salix sp.	2	31. Potentilla sp.	5
Травянистые растения	8185	32. Rosaceae sp.	1
Сем. Graminae	7966	Сем. Leguminosae	19
5. Alopecurus alpinus (s. l.) . .	452	33. Oxytropis sordida (Willd.) Pers.	17
6. Beckmannia cruciformis (s. l.)	15	34. Caragana jubata (Pall.) Poir.	2
7. Bromus sibiricus Drob. . . .	21	Сем. Umbelliferae	4
8. Phragmites communis Trin. .	3	35. Angelica Archangelica L. . .	2
9. Agropyrum cristatum (L.) Bess.	205	36. Umbelliferae sp.	2
10. Agropyrum sp.	181	Сем. Gentianaceae	3
11. Gramineae sp. (недоразвитые пыльцевые зерна)	1390	37. Gentiana sp.*	2
12. Gramineae sp. (частично недоразвитая пыльца)	1604	Сем. Plantaginaceae	6
13. Gramineae sp.	1397	38. Plantago media L.	4
14. Gramineae sp.	1098	39. Plantago sp.	2
15. Gramineae sp.	2	Сем. Compositae	92
16. Gramineae sp.	1021	40. Artemisia dracunculus (s. l.)	5
17. Gramineae sp.	227	41. Artemisia vulgaris (s. l.) . .	14
18. Gramineae sp.	350	42. Artemisia sp.	5
Сем. Cyperaceae	24	43. Artemisia sp.	27
19. Carex sp.	4	44. Artemisia sp.	6
20. Carex sp.	20	45. Aster sp.	5
Сем. Polygonaceae	5	46. Cichoriae sp. (?) Crepis sp. .	3
21. Rumex acetosella L.	3	47. Gnaphalium uliginosum L. . .	2
22. Oxyria digyna (L.) Hill. (?)	2	48. Mulgedium sibiricum (L.) Less.*	21
Сем. Chenopodiaceae		49. Tanacetum vulgare L.	4
23. Atriplex sp.	3	Спores	
Сем. Caryophyllaceae	29	50. Мхи	4
24. Sagina nodosa (L.) Fenzl. . .	5	51. Polypodiaceae sp.	2
25. Cerastium sp.	2	52. Polypodiaceae sp.	1
26. Dianthus sp.	19		

Примечание. Пыльца видов, отмеченных звездочкой, изображена на микрoфотографиях (рис. 1).

Однако В. Н. Сукачев, принимая во внимание наличие в растительных остатках плодов злаков, осок и некоторых представителей других семейств, делает вывод о гибели мамонта во вторую половину лета.

Преобладание в исследованном образце пыльцы злаков не случайно и отражает широкое распространение на местах обитания мамонта луговых участков с обилием злаков и указывает на большую роль последних в питании этого животного, что вполне согласуется с данными В. Н. Сукачева. Вместе с тем нельзя не отметить наличия пыльцы многих видов двудольных, хотя и в малых количествах. Заслуживает также внимания присутствие единичных зерен пыльцы древесных пород (*Abies sibirica*, *Betula verrucosa*, *Alnus incana* s. l.). Если также принять во внимание

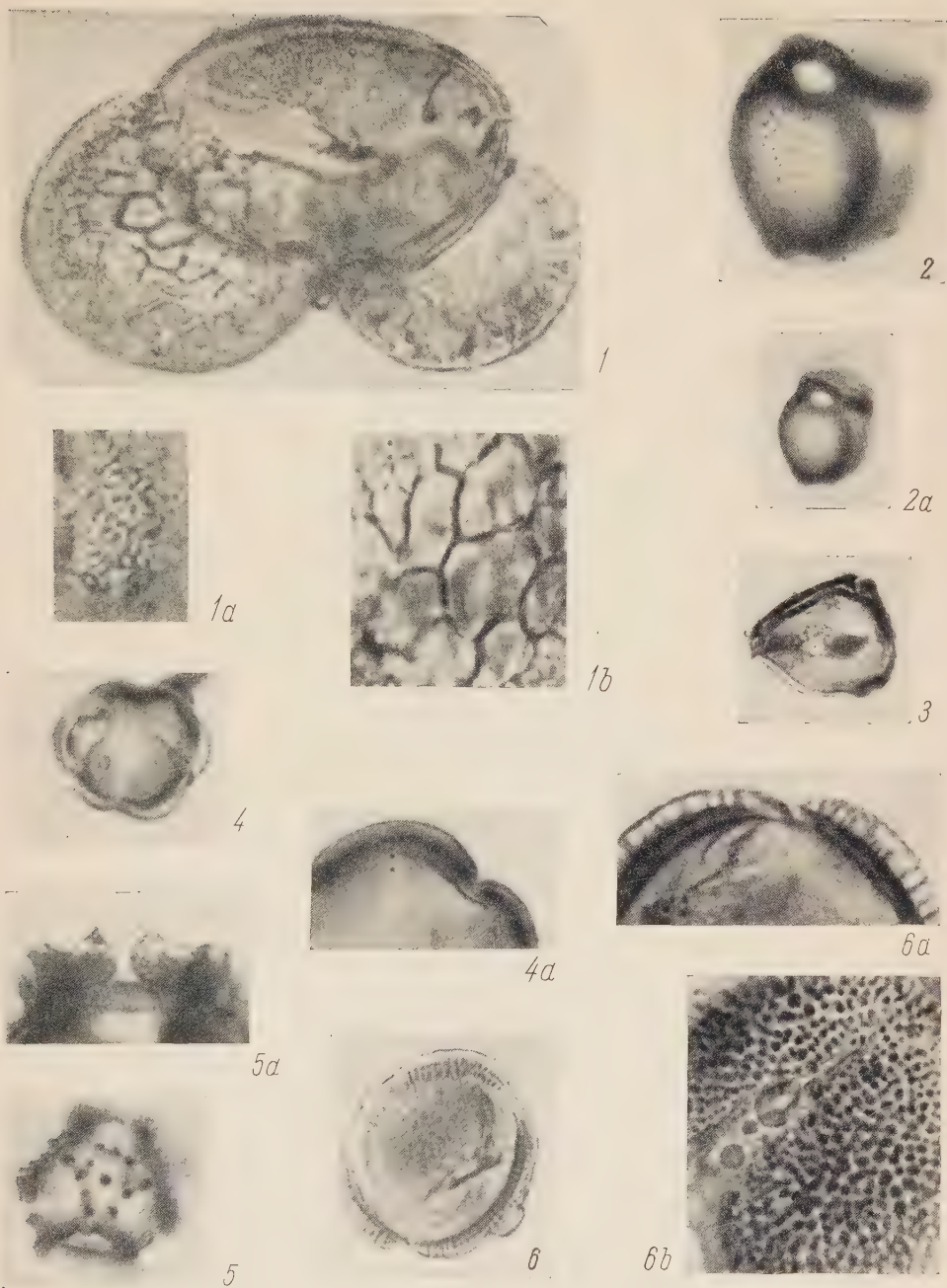


Рис. 1. 1 — *Abies sibirica* Ledeb., общий вид; 1a — деталь скульптуры щита; 1b — деталь скульптуры воздушного мешка. 2 — *Alnus incana* s. lat форма порового отверстия и текстура экзины; 2a — общий вид. 3 — *Betula verrucosa* Erhart, общий вид. 4 — *Sanguisorba officinalis* L., общий вид; 4a — оптический разрез экзины. 5 — *Mulgedium sibiricum* Loss., общий вид; 5a — деталь строения экзины. 6 — *Gentiana* sp., общий вид; 6a — оптический разрез экзины; 6b — деталь строения экзины, вид сверху. Снимки общего вида пыльцевых зерен сделаны при увеличении $\times 675$, детали $\times 1500$

ание нахождение частей древесных пород в слоях залегания мамонта (*Lirix* sp., *Betula alba* s. l., *Alnus* sp.), то принадлежность места обитания березовского мамонта в момент его гибели к лесной зоне не может вызвать сомнений.

Представляет существенный интерес ботанико-географическая и экологическая трактовка приведенных выше данных спорово-пыльцевого анализа и материалов В. Н. Сукачева.

Многие виды, пыльца или макроостатки которых обнаружены в пище мамонта (*Abies sibirica*, *Caragana jubata*, *Hordeum brevisulatum*, виды *Atriplex*, *Agropyrum cristatum*, *Gnaphalium uliginosum*, *Alnus incana* L., *Phragmites communis*, *Plantago media*, *Artemisia dracunculus* s. l., *Angelica archangelica*, *Beckmannia syzigachne* и др.) *, в настоящее время распространены значительно южнее и западнее места нахождения мамонта. Это свидетельствует о существенных изменениях климата с момента гибели мамонта в сторону похолодания. В. Н. Сукачев пришел к весьма важному выводу о комплексности луговых сообществ, которые могли бы быть пастбищем березовского мамонта. Материалы пыльцевого анализа позволяют дать более детальную характеристику видов, произрастающих в районе обитания мамонта. Можно условно говорить по крайней мере о следующих экологических группах видов:

1) Растения сухих местообитаний — «остепненных» сухих склонов и высоких частей долины: *Agropyrum cristatum*, виды рода *Artemisia* (*A. dracunculus* s. l. и др.) *Caragana jubata* (на выходах известняков), *Tanacetum vulgare*, виды рода *Dianthus*, представители флоры *Cruciferae* и др.

2) Растения умеренно-влажных местообитаний — прибрежные луга и луговые участки среди леса: *Bromus sibiricus*, *Gnaphalium uliginosum*, *Angelica archangelica*, *Mulgedium sibiricum*, *Dracunculus acris*, *Sanguisorba officinalis*, *Sagina nodosa*, *Carex lagopina*, виды родов: *Gentiana*, *Melandrium*, *Cerastium* и др., б) леса (*Abies sibirica*, *Betula verrucosa*) и долинные лесные формации (*Alnus incana*).

3) Растения заболоченных избыточно увлажненных местообитаний и прибрежий: *Beckmannia syzigachne*, *Alisma palustris*, *Phragmites communis* и др., а также мох *Hypnum uliginosum* (= *Drepanocladus fluitans*).

4) Растения «засоленных» местообитаний: *Hordeum brevisulatum*, виды р. *Atriplex* и др.

5) Несколько особо стоят крайне немногочисленные виды арктических растений (*Alopecurus alpinus* (s. l.), *Oxyria digyna* (?), *Saxifraga sordida* мох *Aulacomnium turgidum*), свойственные «холодным» местообитаниям безлесных тундроподобных участков, а также виды, не встречающиеся в настоящее время к каким-либо сформировавшимся сообществам (*Rumex acetosella*, *Plantago media*, *Artemisia vulgaris*). Отмеченные выше достаточно ясно обособленные экологические группы видов свидетельствуют о крайне разнообразных природных условиях того времени.

Можно полагать, что естественные луговые и лугоподобные формации бореального характера имели весьма широкое распространение в период жизни березовского мамонта. Приведенные выше данные расширяют наши представления о летней пище мамонта, о растительном покрове в период жизни этого животного и условиях его обитания.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова
Академии наук СССР

Поступило
25 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

* В. Н. Сукачев, Научн. результаты экспед., снаряж. Академией наук для изучения мамонта, найден. на р. Березовке в 1901 г., 3. Пгр., 1911.

* В дальнейшем все названия растений приводятся по «Флоре СССР».

Д. Ф. СОКОЛОВ

О ВЛИЯНИИ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ CO_2 ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ЛЕСНОГО ОПАДА

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 9 II 1954)

Процессы разложения органических веществ в засушливой степи зависят не только от природы растительных и животных остатков, но в значительной мере и от степени увлажненности почв. Влажность почв, наряду с температурным и световым режимами, существенно влияет на биологический круговорот органических веществ. При недостатке влаги значительно затухает деятельность микробов, в связи с чем замедляется распад и минерализация биохимически стойких соединений, при нормальном же или несколько избыточном увлажнении почв происходит более интенсивное разложение их, с образованием CO_2 , NH_3 , HNO_3 и др.

Опытами, заложенными в естественных условиях, установлено, что: 1) разложение лесного опада — подстилки зависит от воздействия насекомых и микроорганизмов, определяющих различный ход биохимических процессов в малогумусных черноземах и 2) скорость разложения опада — подстилки связана с качественным составом листьев, т. е. с гипом смещения культур. Более энергичное разложение опада — подстилок выявлено под пологом насаждения из дуба, ясеня и акации желтой, несколько замедленное — под пологом чистого дубового насаждения, где деятельность микроорганизмов заторможена⁽⁹⁾.

В оптимальных условиях разложения органического вещества преобладают процессы окисления над восстановительными реакциями, благодаря чему значительная часть разлагающихся остатков минерализуется полностью с выделением большого количества свободной углекислоты. Освобождающаяся углекислота приобретает большое значение не только в углеродном питании растений⁽⁴⁻⁷⁾, но и в формировании лесных почв^(2, 3, 8).

Из сказанного следует, что изучение динамики выделения углекислоты может иметь большое значение для понимания процессов разложения органического вещества под пологом лесных насаждений.

Изучение влияния увлажнения на разложение лесного опада, контролируемого выделением CO_2 , было проведено на площадках под пологом лесного массива из дуба и ясеня в возрасте 15—16 лет на Деркульской научно-исследовательской станции Института леса АН СССР.

Почва участка — чернозем маломощный, тяжелосуглинистый, вскипающий от 10% HCl с 48 см.

Опад вносился (16 VI 1952 г.) на очищенную от лесной подстилки поверхность почвы из расчета 20 т/га воздушно-сухой массы по схеме: 1) листья дуба; 2) смесь из листьев дуба и клена (1 : 1); 3) смесь из листьев дуба и акации желтой (3 : 1) и 4) контроль — почва без подстилки.

Определение выделяющейся CO_2 производилось в течение 1 месяца (с 19 VIII по 17 IX 1953 г.) в 8—9 час. утра с учетных площадок размером 0,05 м², изолированных от окружающего пространства стеклянными колпаками. Колпаки врезались на глубину 5 см в почву и с наружной сто-

роны их стенок почва уплотнялась. Рабочая емкость колпаков — 16 л. Выкачивание приземного слоя воздуха из колпаков в количестве 20 осуществлялось с помощью масляного насоса со скоростью 1 л воздуха в 3 мин. Наблюдение производилось в засушливый период при пониженной влажности почв (табл. 1) и при относительно высокой температуре

Таблица 1

Колебания влажности маломощного чернозема за время с 17 VII по 7 IX 1953 г. (в % к навеске)

Глубина в см	Под листьями дуба	Под листьями дуба и клена	Под листьями дуба и акации желтой	Почва без листьев (контроль)
0—10	13,6—12,2	20,0—11,9	18,5—12,2	19,6—11,9
10—15	13,8—12,3	15,7—12,4	16,2—12,5	14,4—12,5
15—20	13,7—12,4	19,5—12,6	14,3—13,0	13,9—12,7
20—30	13,4—12,4	13,7—12,5	13,9—12,5	14,1—12,7

воздуха и поверхности почвы. Средняя максимальная температура воздуха за вторую половину августа составляла 29,9°, минимальная 15,5°. Температура на поверхности почвы за это время была: максимальная 39,8°, минимальная 16,2°. С 1 по 17 IX 1953 г. температура воздуха была: максимальная 21,8°, минимальная 9,7°; на поверхности почвы: максимальная 26,3°, минимальная 9,7°.

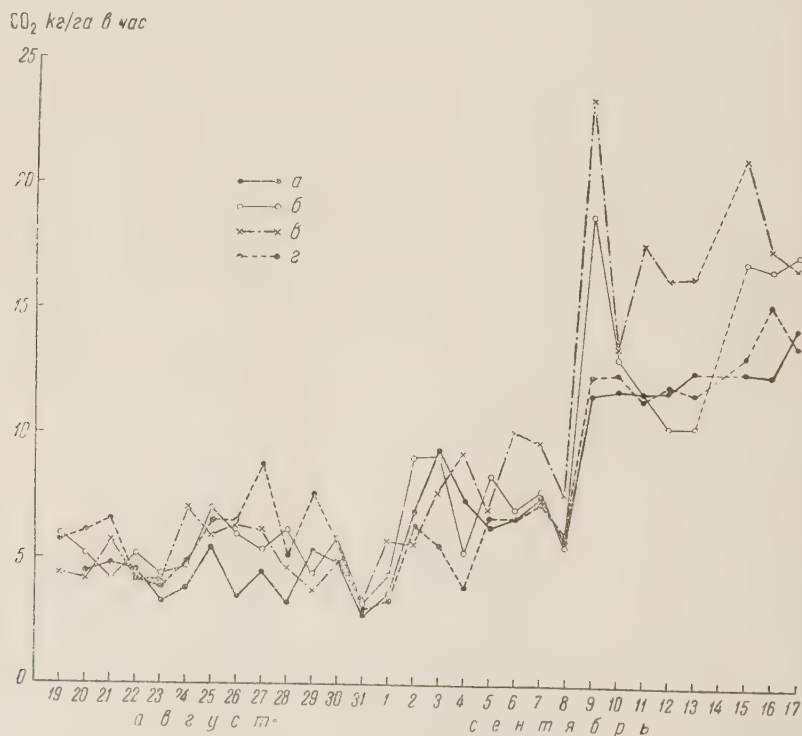


Рис. 1. Динамика выделения CO_2 при разложении опада — подстилки под пологом дубово-ясеневое насаждения. а — листья дуба, б — листья дуба и клена (1:1), в — листья дуба и акации желтой (3:1), г — почва без листьев — контроль

Газообмен между почвой и атмосферой протескал неодинаково (рис. 1). В первый период наблюдения (15—31 VIII) отмечался повышенный газообмен в контрольном варианте с выделением CO_2 до 5,75 кг/га в час. За ним, в нисходящем порядке, делянка с разлагающимися на поверхности

ти почвы листьями дуба и акации (4,99 кг/га·час), дуба и клена (4,74 кг/га·час) и, наконец, одного дуба (4,22 кг/га·час). На основании этих данных можно предположить, что при разложении листьев происходит некоторое поглощение ими выделяющейся из почвы углекислоты.

В первой декаде сентября (1—8 IX), в связи с понижением температуры воздуха и охлаждением поверхностных слоев почвы, отмечено усиление интенсивности разложения органических веществ. Газообмен за тот период наблюдений в среднем характеризовался следующими величинами:

	Выделение CO ₂ кг/га·час	%
Почва без листьев (контроль) . . .	5,78	100,0
Почва с листьями дуба	6,68	115,6
Почва с листьями дуба и клена . .	7,06	122,1
Почва с листьями дуба и акации .	7,84	135,6

Как видно, наибольшее выделение CO₂ происходило в опыте с листьями дуба и акации, наименьшее — на контрольной, без листьев, делянке. Такое изменение, вероятно, связано с улучшением условий жизни для насекомых и микроорганизмов. Высказанное соображение согласуется с величинами убыли органических веществ при разложении опада через 15 месяцев после закладки опыта на тех же опытных делянках (табл. 2).

Таблица 2

Потеря сухого вещества и углерода при разложении опада различного состава

Листья древесных пород	Внесено при закладке опыта (кг/га)		Осталось по истечении 15 месяцев (кг/га)		Потеря в % от внесенного количества	
	сух. вещ.	С	сух. вещ.	С	сух. вещ.	С
Дуба	18214	8619	5888	2435	67,7	71,8
Дуба и клена	18189	8402	3565	1511	80,5	82,0
Дуба и акации желтой . .	18334	8513	5963	2153	67,5	74,7

Из данных табл. 2 вытекает, что максимальная потеря сухого вещества и углерода в нем приходится на смесь из дубовых и кленовых листьев, тогда как по продуктивности газообмена почва этого варианта опыта занимает второе место. Возможно, что к этому времени степень разложения листьев в этом варианте была больше, чем и вызвано снижение к осени продуцирования CO₂ листьев дуба и клена по сравнению со смесью листьев дуба и акации.

Увлажнение опытных площадок, произведенное 8 IX с доведением влажности оставшегося опада до 58—61% и почвы до 31—33% с промачиванием ее на глубину до 15 см, показало, что газообмен между почвой и атмосферой значительно возрос. Наибольшая продуктивность его отмечена также в опыте со смесью листьев дуба и акации, что и видно из средних величин определения CO₂ за 8 суток наблюдений.

	Выделение CO ₂ кг/га·час	%
Вариант 1. Контроль — почва . . .	12,70	100,0
„ 2. Листья дуба — почва . .	12,28	96,7
„ 3. Листья дуба и клена — почва	14,33	112,8
„ 4. Листья дуба и акации — почва	17,72	139,9

С повышением увлажнения растительных остатков и почвы продуцирование CO₂ возросло по сравнению с таковыми до полива на 7,42 кг/га·час, или на 208%. Для отдельных вариантов опыта это увели-

чение выразилось: для варианта 1 на 219,7%, для варианта 2 на 183,8% для варианта 3 на 202,9%, для варианта 4 на 226,0%.

Динамика суточного изменения CO_2 после увлажнения характеризуется отличными между собою показателями, но в то же время мало че

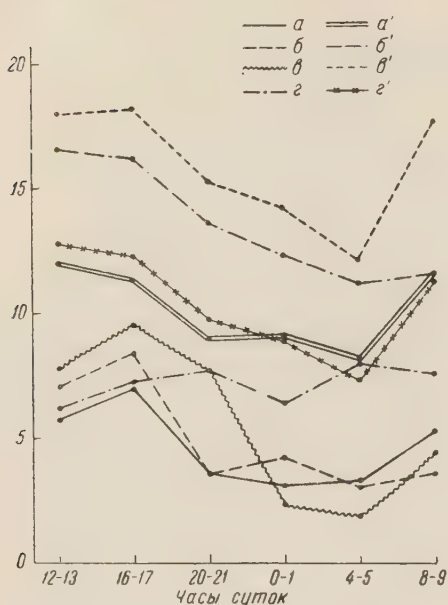


Рис. 2. Суточная динамика выделения CO_2 при разложении опада — подстилки под пологом дубово-ясеневое насаждения. a — $г$ — до увлажнения (28—29 VIII 1953), a' — $г'$ — после увлажнения (10—11 IX 1953 г.), a , a' — листья дуба — почва, $б$, $б'$ — листья дуба и клена (1 : 1) — почва, $в$, $в'$ — листья дуба и акации (3 : 1) — почва, $г$, $г'$ — почва без листьев — контроль

стительных остатков, но и сочетание их. Наиболее интенсивно выделяется CO_2 , судя по данным опыта, при разложении смеси листьев дуба с листьями акации, хотя степень разложенности ее несколько ниже, чем у смеси листьев дуба и клена. Почва под чисто дубовыми листьями, вследствие заторможенности биологической деятельности в ней, не дала каких-либо преимуществ по сравнению с контролем. Наоборот, здесь получены несколько пониженные средние результаты продуцирования CO_2 , в связи с чем наблюдается обогащение почвы к осени органическими соединениями. Этот косвенный метод определения продуктивности лесных почв с установлением интенсивности биохимических процессов в них, вполне согласуется с экспериментальными исследованиями Е. В. Рунова (9) по изучению микрофлоры почв сухой степи.

Работа выполнена в лаборатории лесного почвоведения под руководством проф. С. В. Зонна.

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
7 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. М. Катунский, Юбил. сборн. В. Л. Комарова, 1939.
- ² В. Н. Миндаль, ДАН, 64, № 4, 557 (1949).
- ³ В. Н. Мина, Тр. Инст. леса АН СССР, 7 (1951).
- ⁴ А. Л. Курсанов, А. М. Кузин, Я. В. Мамуль, ДАН, 79, № 4, 685 (1951).
- ⁵ А. М. Кузин, В. И. Меренова, Я. В. Мамуль, ДАН, 85, № 3, 645 (1952).
- ⁶ А. Л. Курсанов, Н. Н. Крюкова, Б. Б. Вартапетян, ДАН, 84, № 4, 9 (1952).
- ⁷ Г. К. Самохвалов, Новое об углеродном питании растений, Харьков 1952.
- ⁸ С. В. Зонн, А. К. Алешина, ДАН, 92, № 5, 1035 (1953).
- ⁹ Е. В. Рунов, Тр. Инст. леса АН СССР, 15 (1954).

Л. С. КОЗЛОВСКАЯ

ОБИТАНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ ИЗ РОДА *PISIDIUM* В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 22 II 1954)

Изучая почвенную фауну лесосек и лесов Котласского района Архангельской области, мы столкнулись с интересным явлением перехода типично пресноводных видов животных к почвенному образу жизни. Найденные нами в почве виды принадлежат к двустворчатым моллюскам из рода *Pisidium* — *P. casertanum* (Poli) и *P. personatum* Malm.

Первая находка *Pisidium* в почве была сделана на вырубке 11-летней давности, расположенной в нижней части пологого склона от водораздела к высокой надпойменной террасе р. Лименды. Микрорельеф вырубки характеризуется чередованием прикорневых бугров и понижений между ними. В травяном ярусе преобладает таволга (*Filipendula ulmaria*) с примесью иван-чая (*Epilobium angustifolium*), гравилата (*Geum rivale*), вейника (*Calamagrostis neglecta*), щучки (*Deschampsia caespitosa*) и др.

В моховом покрове господствуют зеленые мхи *Pleurozium Schreberi* и *Hylacomium proliferum*. На вырубке удовлетворительно возобновляются береза, ель, ольха.

Строение почвенного профиля на лесосеке следующее:

A_0 (0—17 см) — торфянистый, сложенный травяными и древесными остатками, пронизанный корнями современной растительности. В момент исследования мокрый, черного цвета.

A_1 (13—33 см) — легкий суглинок темносерого цвета с бурыми и черными пятнами, неясно-комковатой структуры.

B (33—55 см) — супесь, коричневато-бурого цвета с темными и сирыми пятнами, остатками хвоща, запах гниlostный. Структура неясно-ореховатая. Этот горизонт представляет собой озерные отложения, распространенные на значительной площади.

Уровень почвенно-грунтовых вод находится в сухое время ниже 50 см, после дождей приближается к поверхности.

Оба вида названных горошин образовывали скопление живых и мертвых моллюсков в почве, на глубине 10—12 см. Совместно с ними были встречены в большом количестве энхитреиды, дождевые черви и личинки *Diptera*. Меньшая роль в фауне принадлежала *Collembola*, *Acarina* и *Nematodes*.

Вторая находка пресноводных моллюсков сделана в торфяной почве ельника разнотравного, расположенного в 7 км от описанной вырубки. Ельник занимает заторфованную впадину рельефа. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает таволга (*Filipendula ulmaria*), много костяники (*Rubus saxatilis*), брусники (*Vaccinium vitis idaea*), кислицы (*Oxalis acetosella*) и др. Напочвенный покров образуют те же зеленые лесные мхи, что и на вырубке.

Основная масса моллюсков сосредоточена на глубине 10—20 см и состоит из тех же видов рода *Pisidium*. Кроме них, почва населена энхитреидами и дождевыми червями. В верхнем горизонте встречаются также пресноводные *Ostracoda* (*Candona rostrata*).

Остановимся подробнее на особенностях экологии *Pisidium casertanum* и *Pisidium personatum*, что поможет нам понять возможность перехода названных моллюсков к почвенному обитанию.

Как известно, пизидиумы относятся к бентическим животным, живущим преимущественно на илистых аллювиальных отложениях. Лишь немногие виды этого рода предпочитают глинистое или песчаное дно. Оба наших моллюска встречаются на богатых органическим веществом сапропелях. При этом они часто зарываются в ил, прокладывая там себе ходы.

По Фавру (4) и др., *Pisidium casertanum* и *P. personatum* были найдены в озерах на больших глубинах, где они жили в условиях дефицита кислорода. Кроме того, оба вида указаны для болот и водоемов со значительной стагнацией воды, что также подтверждает их способность переносить недостаток кислорода и несколько повышенную кислотность среды (3).

При пересыхании временных водоемов пизидиумы зарываются в грунт, где они переживают неблагоприятные условия.

Интересны данные Бранда (1), относящего пластинчатожаберных моллюсков к числу животных, способных жить некоторое время в анаэробных условиях за счет анаэробных процессов.

По характеру питания эти моллюски являются фильтраторами. Они пропускают через свою мантийную полость ток воды, из которой улавливают микроорганизмы и органический детрит.

Моллюски, откладывающие икру или имеющие плавающую личинку, не могут обойтись в своем развитии без водоема. В этом отношении *Pisidium* представляют исключение. Развитие зародышей *Pisidium* происходит внутри мантийной полости материнского организма и менее зависит от внешних условий, вследствие чего они оказываются более приспособленными к переходу к почвенным условиям обитания.

Рассмотрение экологии *Pisidium casertanum* и *Pisidium personatum* показывает, что условия их существования в водоеме во многом сходны с почвенными.

По поводу нахождения пизидиумов в почве можно высказать два предположения.

Первое — пизидиумы находятся в почве в неактивном, непитающемся состоянии. Период же их активной жизнедеятельности связан с затоплением леса и вырубке после таяния снега и сильных дождей. В это время моллюски мигрируют в верхние горизонты почвы и живут в условиях временного водоема.

Второе предположение — пизидиумы приспособились к новым условиям существования и перешли к почвенному образу жизни в насыщенной водой торфянистой почве. Этому способствовали: 1) значительная влажность лесной почвы, связанная с систематическим притоком богатой кислородом почвенно-грунтовой воды; 2) наличие богатого питательного материала в виде разложившихся органических остатков и бактерий.

По нашему мнению, обоснованнее второе предположение. Как видно из изложенных выше данных, между условиями существования пизидиумов в описанных болотистых почвах и в водоемах не существует резкой разницы. Кроме того, пизидиумы найдены в почвах на глубине 12—20 см, что делает их миграцию на поверхность мало вероятной. Пизидиумы с глубины почвы в 20 см представляли собой целую колонию, состоящую из взрослых, молодых и мертвых экземпляров (всего 60 особей), что свидетельствует об их длительном существовании на одном месте.

Каким же образом произошло заселение почвы пизидиумами? Нельз

предположить, чтобы переход от водного образа жизни к почвенному произошел сразу, например, в результате заноса моллюсков в лес водоплавающими птицами. Ответ на этот вопрос дают стратиграфические данные. Оказывается, что описанные нами вырубка и лес подстилаются озерными отложениями. В последних найдены остатки пресноводных *Gastropoda*, которые при высыхании водоема не приспособились к новому образу жизни и вымерли. Таким образом, можно сказать, что процесс приспособления *Pisidium casertanum* и *P. personatum* имел длительный и постепенный характер и обуславливался высыханием водоема.

Возможность перехода животных от водного образа жизни к наземному была теоретически обоснована М. С. Гиляровым⁽²⁾. По его мнению, переходной средой между водоемами и сушей служила почва. Гиляров подтверждает свою гипотезу данными сравнительной анатомии и экологии. Фактический же материал относительно перехода конкретных видов от водного образа жизни к почвенному почти отсутствует. Подобный случай был описан в 1934 г. Гармсом, когда в результате осушки озера бенигическая олигохета *Tubifex* приспособилась к жизни в почве (приводится по М. С. Гилярову).

Наша находка пресноводных моллюсков в почве является, повидимому, вторым случаем, подтверждающим на конкретном материале возможность перехода водных животных при высыхании водоема к почвенным условиям существования. Наш вывод о переходе пизидиумов к почвенному образу жизни нуждается еще в проверке и уточнении путем дополнительных исследований. В частности необходимо изучение морфологии тела моллюсков, так как в процессе приспособления к новым условиям существования в их строении могли произойти интересные изменения.

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
30 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. Бранд, Анаэробизис у беспозвоночных. М., 1951. ² М. С. Гиляров, Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. М.—Л., 1949. ³ В. И. Жадин, Моллюски пресных и солоноватых вод СССР, Л., 1952.
J. Favre, Mem. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève, 40, 3 (1927).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. С. КРУЖИЛИН и М. А. ЭРВАЛЬД

**ХАРАКТЕР СТАДИЙНОГО РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ СЛАДКОГО
ПЕРЦА И БАКЛАЖАНА***(Представлено академиком А. Л. Курсановым 27 II 1954)*

Стадийное развитие перца и баклажана изучено слабо. С. К. Олейникова⁽⁴⁾, изучавшая реакцию различных сортов сладкого перца на изменение длины дня, показала определенные различия: одни сорта ускоряют наступление цветения при коротком 10-часовом дне, а другие — при 14- и 18-часовом дне.

При проведении настоящей работы мы поставили задачу изучить биологические особенности перца и баклажана, в частности выяснить, при каких условиях и в какие фазы они проходят основные стадии своего развития — яровизации и световую — и какова продолжительность этих стадий.

Работа проводилась в 1950—1952 гг. в Рязанском сельскохозяйственном институте (г. Рязань) с сортами перца Ранний Круглый 2120 — Грибовской овощной селекционной станции, Кубанский Ранний 70/60 — Краснодарской овощеккартофельной опытной станции и баклажана Карликовый Ранний — Грибовской овощной селекционной станции. Велись следующие наблюдения: 1) наблюдения за динамикой роста растений; 2) учет дифференциации точки роста растений; 3) биохимические исследования (активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты).

Наблюдениями 1950 г. было установлено, что стадия яровизации в проросших семенах полностью не проходит, поэтому в дальнейшем работа проводилась путем яровизации растений на ранних фазах роста.

Разные температуры и укороченный 10—12-часовой день давались растениям в разные фазы их роста: при появлении семядолей, 1-го листа, 2-го листа и т. д.

Наблюдения показали, что на укороченном 10-часовом дне отмечалось некоторое угнетение ростовых процессов по сравнению с растениями, выращиваемыми на естественном 14—16-часовом дне. Очевидно 10-часовой день был недостаточен для нормального роста и развития изучаемых нами сортов перца и баклажан. Растения, выращиваемые в начале развития при низкой температуре (12—14°), отставали в росте и первый лист у них появился на месяц позже, чем у контрольных растений. На естественной длине дня (17 часов) прохождение световой стадии задерживалось и бутонизация растений отсюда увеличивалась на 4 дня (табл. 1).

Анализ приведенных данных показывает, что при температуре ниже 15° стадия яровизации у растений перца и баклажана сильно задерживается; она нормально проходит при температуре более 20°. Из сравнения первых двух вариантов видно, что в условиях более теплого 1951 г. в результате яровизации наступление бутонизации ускорялось на 20 дней, а в более холодном 1952 г. — около 40 дней. В результате прохождения световой стадии на укороченном 12-часовом дне наступление бутонизации ускорялось на 7 дней (2-й и 3-й варианты). Длинный 16—17-часовой день

задерживал развитие растений на 7—11 дней, а укороченный 10-часовой день — еще больше (на 17—22 дня). Световую стадию растения быстрее всего проходили не на коротком (8—10-час.), а на укороченном (12—15-час.) дне.

Таблица 1

Влияние температуры и длины дня на развитие растений сладкого перца и баклажана

Варианты	Температура в °С в период яровиз.	Режим световой стадии		Число дней от всходов до бутонизации			
		температура в °С	длина дня (час.)	перец		баклажан	
				Ранний Круглый	Кубанский Ранний	Деликатес	Карликовый Ранний

1951 год

Без яровизации	10—16	22—20	14—16	63	71	—	70
С яровизацией, естественный день	22—26	20—22	14—16	42	52	—	50
С яровизацией, укороченный день	22—26	20—22	10	64	69	—	51

1952 год

Без яровизации	12—15	22—25	15—17	79	84	82	77
С яровизацией, естественный день	20—25	22—25	15—17	37	42	65	37
С яровизацией, укороченный день	20—25	22—25	12	28	35	52	26
Закалка при —2°, 4 дня	22—25	22—25	15—17	31	39	61	33

Примечание. Период яровизации принят условно от всходов до появления 1-го листа, световая стадия — от появления 1-го листа до бутонизации.

Однако полученные в результате яровизации и оптимальных условий прохождения световой стадии сроки ускорения наступления бутонизации нельзя еще считать истинной продолжительностью указанных стадий развития. Бутонизация наступает после завершения растением указанных двух стадий развития. Если посмотреть на дифференциацию точки роста и образование в ней бутонов, связанные с завершением световой стадии, то можно убедиться, что примерно половина этих сроков приходится на последующее формирование и рост бутона до появления его на поверхности листьев. Таким образом, оказывается, что яровизация фактически проходит за 10—15 дней, а световая стадия — за 6—10 дней.

В 1952 г. короткий день давался при появлении 1-го листа с 8 часов утра до 8 час. вечера (12 часов). Наблюдения показали, что под влиянием 12-часового дня происходило ускорение начала бутонизации и цветения растений на 7—9 дней у перца и на 10 дней у баклажана (см. табл. 1).

В другом опыте, где укороченный день давался растениям в разные фазы их роста (с появления очередного яруса листьев), на основании сроков ускорения бутонизации установлено, что на изменение длины дня реагируют лучше 2-й — 4-й листья. Очевидно, с этими листьями и связаны качественные превращения продуктов обмена веществ, определяющие прохождение и завершение световой стадии развития.

Когда растение имеет 1—2 развернувшихся листа, точка роста конуса нарастания еще не вытягивается: она еще гладкая и находится между листовыми бугорками. Когда растение имеет 4 развернувшихся листа

точка роста находится в виде зачаточного бутона неправильной формы. Следовательно, когда бутон заложился, это означает, что первые две стадии развития уже прошли.

При появлении 3-й пары листьев в бутоне видны уже все части цветка и сформированные пыльники. На укороченном 12-часовом дне дифференциация конуса нарастания начиналась раньше, чем на естественном 16—17-часовом дне. Дифференциация точки роста ускорялась, когда растения укрывались в фазе появления 1-й пары листьев; растения продолжали реагировать на 12-часовой день и в фазе 2-й пары развернувшихся листьев. Следовательно, прохождение световой стадии обусловливается продуктами обмена веществ, которые вырабатываются в первых четырех развернувшихся листьях.

Наблюдения показали, что начало дифференциации конуса нарастания и интенсивность этого процесса связаны с ростом растения и площадью его листового аппарата: чем больше последняя, тем быстрее идет дифференциация, и наоборот.

В литературе указывалось ^(3, 5-9), что в процессе яровизации растений активность пероксидазы в них возрастает. Было показано ⁽²⁾, что в растениях томатов высокая

активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты отмечены в 4—5-м ярусах листьев, с наличием которых связано завершение световой стадии развития. При этом в стеблях эти показатели более устойчивы, чем в листьях.

Нами изучались активность пероксидазы и содержание аскорбиновой кислоты в листьях и в участках стебля против листьев, а в листьях — по ярусам. Установлено, что ход кривой активности пероксидазы в стеблях более устойчиво отражает изменения стадийных и других процессов, чем активность пероксидазы в листьях. Подъем ее активности отмечается в 1-м и 3-м листьях, а в 5-м листе снова снижается (табл. 2).

Один максимум активности пероксидазы наблюдается в участке стебля около семядольного листа. Другой максимум активности отмечается против 4-го листа.

Таким образом, участок стебля против 4-го листа качественно отличается от участков стебля, расположенных выше и ниже его. Это отличие, очевидно, связано с окончанием световой стадии и переходом к участку стебля с последующей стадией развития. Максимумы активности пероксидазы, очевидно, характеризуют границы стадий, как это указывает И. И. Гунар ⁽¹⁾ для злаковых культур.

Третий максимум активности пероксидазы наблюдается в 11—12-м листьях и соответствующих участках стебля; этот максимум совпадает с фазой формирования зародыша в семенах и, возможно, характеризует новую стадию развития растения. На укороченном 12-часовом дне активность пероксидазы в стебле всегда была выше, чем у контрольных растений.

Нами определялась восстановленная форма аскорбиновой кислоты по фазам роста растений и по вариантам. Установлено, что в пижних листьях

Таблица 2

Активность пероксидазы в растениях перца Ранний Круглый 2120 по ярусам и вариантам в фазе бутонизации (в мг % пурпургаллина)

№№ листьев	В листьях		В стебле		
	контроль	укорочен. день	контроль	семена мороз. 16 час.	укорочен. день 12 час.
Семядольные	0,53	0,51	0,82	1,48	0,90
1	0,58	0,58	0,56	1,07	0,62
2	0,50	0,55	0,73	0,76	0,68
3	0,74	0,82	0,66	0,68	0,75
4	0,62	—	1,07	1,24	1,00
5	0,59	—	0,70	1,02	0,75

(1—4), независимо от их собственного возраста, содержание аскорбиновой кислоты пониженное. От 4-го к 5—6-му листьям происходит значительное увеличение содержания аскорбиновой кислоты, которое продолжается до 7-го листа, где оно достигает первого максимума. В 8—9-м листьях содержание аскорбиновой кислоты снижается и вновь поднимается

Таблица 3

Содержание аскорбиновой кислоты в листьях перца перед цветением (в мг % пурпурогаллина)

№№ листьев	Сорт Ранний Круглый	Сорт Кубанский Ранний 70/60
1	40,0	31,9
2	48,8	27,7
3	45,0	35,0
4	48,6	59,8
5	72,8	69,0
6	80,6	88,6
7	128,3	59,8
8	101,4	47,4
9	80,2	38,2
10	102,2	53,3
11	153,1	—
12	90,0	—

в 10—11-м листьях, а затем падает (табл. 3). Очевидно, наступление первого максимума содержания аскорбиновой кислоты в листьях также связано с переходом растения в следующую стадию развития. Ход кривой содержания аскорбиновой кислоты в листьях имеет иное направление, чем ход кривой изменения активности пероксидазы.

Таким образом, результаты биохимических анализов подтверждают заключение о том, что 1—4 листья выполняют иные функции, чем остальные листья растения.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Растения сладкого перца и баклажана проходят стадию яровизации наиболее быстро при температуре выше 20—22°. Прохождение стадии ярови-

зации у них начинается в прорастающих семенах и заканчивается в фазе семядольных листочков.

2. Световая стадия у перца и баклажана наиболее быстро проходит на 12—15-час. дне, при температуре 22—25°. Она начинается в фазе появления 1-й пары листьев и заканчивается в фазе начала появления 3-й пары листьев. Полностью развернувшиеся 1—4-й листья обуславливают прохождение световой стадии.

3. Наступление и скорость прохождения световой стадии можно диагностировать по степени дифференциации точки роста. Когда в точке роста появляется зачаток бутона, то световая стадия заканчивается.

4. Наиболее высокая активность пероксидазы наблюдается в 1-м и 3-м ярусах листьев, а в участках стебля — против семядольного и 4—5-го листьев, с которыми связано прохождение стадий развития растений. Содержание аскорбиновой кислоты в этот период характеризуется недостаточно устойчивыми величинами.

Поступило
6 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Гунар, Е. Е. Крастина, ДАН, 86, 1 (1952). ² А. С. Кружилин, З. М. Шведская, Агробиология, 5 (1950). ³ Л. В. Михайлова, ДАН, 64, 6 (1949). ⁴ С. К. Олейникова, ДАН, 77, 5 (1951). ⁵ А. И. Опарин, Изв. АН СССР, сер. биол., № 6 (1937). ⁶ А. И. Опарин, Проблемы биохимии в мичуринской биологии, Сборн. 1, 1949. ⁷ Н. М. Сисакян, Биохимия, 2, 2 (1937). ⁸ Н. М. Сисакян, И. И. Филиппович, ДАН, 76, 3 (1951). ⁹ А. А. Рихтер, ДАН, 9, № 2 (1933).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Ф. Ф. МАЦКОВ и Б. С. ПОДРАЖАНСКАЯ

СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА КАК МИКРОУДОБРЕНИЯ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 26 II 1954)

Опытами, проведенными в 1948—1950 гг., было показано, что внесение в почву ничтожно малых количеств некоторых органических растактивирующих веществ, как то: гетероауксина, α -нафтилуксусной кислоты (АНУ), 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-ДУ) в дозах от 0,1 до 0,001 мг на 1 кг почвы значительно повышает урожай сухой массы растений⁽¹⁾. В опытах 1950 г., кроме того, было обнаружено, что внесенные в почву растактивирующие вещества (совместно с микроудобрениями) улучшают рост и развитие корневой системы растений в большей степени, чем их надземных частей. Приводим результаты некоторых из этих опытов в табл. 1.

Таблица 1

Результаты опыта с овсом в ящиках Ротмистрова (растения убраны в 50-дневном возрасте)

Варианты опыта	Высота надземн. органов в см	Длина корней в см	Вес сухой массы надземн. частей		Вес сухой массы корней		Общий вес сухой массы растений	
			г	%	г	%	г	%
НРК	75,6	50,5	10,90	100,0	4,34	100,0	15,24	100,0
НРК + АНУ*	91,0	62,5	12,26	112,4	5,26	121,9	17,52	114,9
НРК + гетеро-ауксин*	87,0	57,0	12,80	117,4	5,18	121,6	17,98	118,1
НРК + 2,4-ДУ*	87,5	65,0	11,80	108,3	5,30	122,1	17,10	112,2

* 0,1 мг на 1 кг почвы.

Из табл. 1 видно, что от примеси к НРК микродозы АНУ вес сухой массы надземных органов 50-дневных растений овса увеличился на 12,4%, а вес их корней — на 21,9%; под влиянием гетероауксина вес сухой массы надземных органов и корней увеличился соответственно на 17,4% и на 21,6%, а под влиянием 2,4-ДУ — на 8,3% и на 22,1%.

Таким образом, на основании наших трехлетних опытов можно утверждать, что эффективность минеральных удобрений повышается от внесения совместно с ними небольших доз стимулирующих химических препаратов.

Для нас оставалось неясным, как долго внесенные в почву растактивирующие вещества могут проявлять свое действие, т. е. сохранять свою активность, не подвергаясь дальнейшим превращениям. Для ответа на этот вопрос мы поставили в 1951 г. опыт с овсом.

Еще осенью 1950 г. вегетационные сосуды были наполнены почвой (по 4 кг на сосуд) с одновременным внесением (согласно схеме опыта) полной питательной смеси (НРК) по нормам Прянишникова с примесью

микродоз растактивирующих веществ (гетероауксина АНУ и 2,4-ДУ) — по 0,1 мг на 1 кг почвы. Часть сосудов была наполнена чистой почвой. Все сосуды были разделены на две группы, одна из которых хранилась до весны в холодном вегетационном домике (т. е. при температурах ниже нуля), а другая — в теплой оранжерее, где температура поддерживалась на уровне 15—17°.

Весною все сосуды были «перенабиты», т. е. почва из них была высыпана, разрыхлена, увлажнена и снова внесена в те же сосуды. При этом сосуды, которые осенью наполнялись чистой почвой, были внесены минеральные удобрения (NPK) с примесью микродоз растактивирующих веществ, согласно схеме. Как видно из описания схемы опыта, имелось 1-й виду сравнить действие растактивирующих веществ, внесенных в почву осенью и весною. Кроме того, мы хотели получить ответ на вопрос, как будут изменяться растактивирующие вещества в почве, если последние будут в течение 5—6 месяцев находиться в условиях отрицательных температур (когда микробиологические процессы не идут) и в условиях комнатной температуры, когда растактивирующие вещества могут подвергаться воздействию почвенной микрофлоры. Результаты этого опыта сведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние срока и условий пребывания растактивирующих веществ в почве на их активность (результаты вегетационного опыта с овсом 1951 г.)

Удобрения	Срок внесения удобрений	Место хранения сосудов зимой	Высота растений, в см	Вес сухой массы соломы		Вес сухой массы зерна		Общий вес сухой массы растений	
				г	%	г	%	г	%
NPK	Осень (30 IX 1950 г.)	Вегет. домик	101,5	8,25	100,0	6,15	100,0	14,40±0,70	100,0
NPK + АНУ	То же	То же	112,0	10,10	122,4	6,00	97,7	16,10±0,00	118,8
NPK + 2,4-ДУ	" "	" "	107,0	10,50	127,3	6,75	109,8	17,25±0,95	119,8
NPK + гетеро-ауксин	" "	" "	112,0	8,17	99,0	6,57	106,8	14,74±0,74	102,4
NPK	Весна (30 IV 1951 г.)	" "	111,0	10,85	100,0	8,05	100,0	18,90±0,70	100,0
NPK + АНУ	То же	" "	118,0	13,15	121,2	9,25	114,9	22,40±1,00	118,8
NPK + 2,4-ДУ	" "	" "	108,0	11,05	101,8	9,50	117,9	20,55±0,78	108,8
NPK + гетеро-ауксин	" "	" "	112,0	12,82	118,2	9,45	117,4	22,27±0,92	117,8
NPK	Осень (30 IX 1950 г.)	Оранжерея	100,0	7,17	100,0	5,40	100,0	12,57±0,12	100,0
NPK + АНУ	То же	То же	108,5	9,70	135,3	7,27	134,6	16,97±1,57	135,8
NPK	Весна (30 IV 1951 г.)	" "	110,0	11,35	100,0	8,22	100,0	19,55±1,07	100,0
NPK + АНУ	То же	" "	110,0	14,17	122,0	10,03	121,9	24,20±0,45	123,8

Анализируя данные табл. 2, можно сделать такие выводы: бывшие в опыте различные растактивирующие вещества изменяются при длительном пребывании в почве по-разному. Температурные условия хранения сосудов с почвой, в которую были внесены растактивирующие вещества оказывают на них большое влияние.

Гетероауксин, внесенный в почву осенью, к весне следующего года, по видимому, почти полностью исчезает и поэтому не оказывает свойственного ему положительного воздействия на растения. Наоборот, 2,4-ДУ при осеннем внесении в почву действует на накопление растениями органи-

ческого вещества даже лучше (+19,8%), чем при весеннем внесении (+8,7).

Правда, урожай зерна оказывается более высоким при весеннем внесении в почву 2,4-ДУ. Что касается АНУ, то хотя пребывание ее в почве в течение зимы (в условиях вегетационного домика) и не привело к ее полному исчезновению, но значительно снизило положительное действие на растения, посеянные весной. Особенно это сказалось на урожае зерна.

Хранение почвы с внесенной в нее АНУ в условиях оранжерей не снижает положительного действия ростактивирующего вещества на посеянные на этой почве растения овса.

Выводы о длительности действия ростактивирующих веществ, внесенных в почву осенью, не окончательные, так как они вытекают из экспериментальных данных одного года.

Поступило
29 VI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Ф. Ф. Мацков, Б. С. Подражанская, ДАН, **66**, № 5 (1949); **72**, № 2 (1950).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. В. МОСОЛОВ и В. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ

**ВЛИЯНИЕ АЗОТА И ФОСФОРА НА ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА
В ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЕНАХ ПШЕНИЦЫ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 15 II 1954)

Многочисленные опыты, проведенные за последние годы, показали большую эффективность рядкового внесения суперфосфата. Гранулированный суперфосфат, внесенный в рядки при посеве вместе с семенами пшеницы из расчета 10 кг P_2O_5 на гектар, дает значительную прибавку урожая зерна и всегда обеспечивает более высокую эффективность, чем другие способы внесения суперфосфата.

Фосфор, находящийся вместе с семенами в почве, оказывает благоприятное влияние на развитие и рост растений. В отличие от фосфорных азотные удобрения, внесенные в рядки вместе с семенами в начальный период, замедляют рост растений и в особенности корней. Это явление особенно резко проявляется, если азотные удобрения вносятся в рядки без фосфорных, в случае почвы с кислой реакцией, бедной кальцием, и в случае растений, семена которых бедны углеводами.

Физиологическая роль положительного действия фосфорных удобрений, внесенных в рядки вместе с семенами, на рост пшеницы освещена во многих работах (1). Но влияние фосфорных, а также и азотных удобрений на изменения органических соединений в семенах в период от посева до появления всходов и в самый начальный период роста растений мало изучено. Лабораторией питания растений Института удобрений, агротехники и агропочвоведения в 1951—1952 гг. проводились исследования с целью выяснения действия азота и фосфора, внесенных в рядки вместе с семенами, на изменение биохимических процессов в прорастающем семени.

Растения выращивались в кристаллизаторах (объемом в 2,5 л) в легкой супесчаной почве, где удобрения вносились в рядки с семенами в количестве N 0,22 г и P_2O_5 — 0,15 г действующего начала в виде суперфосфата и аммиачной селитры. Почва нейтрализовалась $CaCO_3$. В каждый кристаллизатор высаживали по 100 семян пшеницы. Повторность опыта была четырех- и пятикратная, в анализ брались семена без корешков и ростков. Пробы тщательно промывались дистиллированной водой, растирались в фарфоровых ступках, после чего анализировались. Во взятых образцах

Таблица 1

Влияние фосфора и азота на гидролиз крахмала семени до появления всходов (яровая пшеница сорт Московская)

Варианты	В мг глюкозы на 100 проростк. на абс. сух. вещество	В % от исходного
----------	---	------------------

Опыт 1

Исходное зерно . . .	2013,7	100,0
Без фосфора	837,0	41,6
Фосфор в рядки . . .	926,6	46,0

Опыт 2

Исходное зерно . . .	2311,3	100,0
Без азота	1170,3	50,6
Азот в рядки	946,6	40,0

определялись содержание крахмала ⁽²⁾, а также активность пероксидазы по методу А. Н. Белозерского и Н. И. Проскурякова ⁽³⁾ и поглощение кислорода по методу А. И. Смирнова ⁽⁴⁾. Схемы опытов и результаты исследований приводятся в табл. 1—4.

Из данных табл. 1 видно, что действие азота и фосфора на гидролиз крахмала проявляется по-разному. Фосфорные удобрения, внесенные

Таблица 2
Влияние фосфора и азота на активность пероксидазы в проростках пшеницы Московская (до появления всходов)

Варианты	Активность пероксидазы в % от контроля
1/2 смеси Гельригеля без фосфора	100
То же, с фосфором	80
1/2 смеси Гельригеля без азота	100
То же, с азотом	114

вместе с семенами в рядки, задерживают до появления всходов гидролиз крахмала и ослабляют активность пероксидазы. Азотные удобрения, наоборот, усиливают прорастающих семян гидролиз крахмала и активность пероксидазы, что приводит к преждевременной, нерациональной трате пластических веществ семени, в частности крахмала. Это действие азота сказывается в одном направлении как до появления всходов, так и в период появления зеленых листочков, в то время как фосфорные удобрения в период появления ассимиляционной по-

верхности изменяют свое действие в сторону усиления гидролиза крахмала в семени.

Из данных табл. 3 видно, что с момента появления ассимиляционной поверхности фосфор, как и азот, уже способствовал усилению гидролиза крахмала семени; разница их действия сказывалась лишь в том, что в вариантах с фосфором, в отличие от варианта без фосфора, активность пероксидазы и поглощение кислорода были одинаковыми или несколько ниже, в то время как в вариантах с азотом, в отличие от варианта без азота, активность пероксидазы и поглощение кислорода были выше.

Известно, что дыхание является важнейшим процессом жизнедеятельности растений; но усиленное дыхание без интенсивной ассимиляции углерода и усвоения элементов питания является малопродуктивной тратой веществ семени. Поэтому проростки пшеницы по азотным вариантам, быстро израсходовав на дыхание пластические вещества семени, задерживались в росте и особенно в развитии корневой системы.

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что азотные удобрения, внесенные вместе с семенами в самый начальный период, задерживают рост проростков и развитие корневой системы. В практике это явление обнаруживается тогда, когда азотные удобрения вносятся в рядки вместе с семенами, или тогда, когда перед посевом вносятся высокие дозы азотных удобрений. Азотные удобрения, внесенные под пшеницу в период появ-

Таблица 3
Влияние фосфора и азота на гидролиз крахмала семени при появлении ассимиляционной поверхности (яровая пшеница, сорт Московская и Озимая № 1)

Варианты	В мг глюкозы на 100 проростков на абс. сух. в-во	В % от исходного
----------	--	------------------

Московка, опыт 3

Исходное зерно	1957,2	100,0
Без фосфора	474,1	24,2
Фосфор в рядки	418,9	21,4

Московка, опыт 4

Исходное зерно	1930,5	100,0
Без азота	875,2	46,3
Азот в рядки	751,1	38,9

Озимая № 1, опыт 5

Исходное зерно	2440,2	100,0
Без фосфора	1330,6	54,5
Фосфор в рядки	930,4	38,1

ления 2—3 листочков и позже, т. е. в виде подкормки растений, оказыва-
ет положительное влияние на рост и развитие растений. Отрицательное
действие азотных удобрений в период прорастания и появления всходов
бы устраняли в опытах, когда азотные удобрения вносили в смеси с
органическими или с фосфорными удобрениями.

На основании проведенных исследований установлено, что задержка
росте и развитии растений от внесения азотных удобрений в рядки
месте с семенами связана с

действием азота на процес-
ы превращения веществ в
емени. Под влиянием азота
силится гидролиз крах-
мала, интенсивность дыха-
ния и активность окислитель-
ных ферментов, что ведет
преждевременному расходу
пластических веществ семен-
и. Для того чтобы устрани-
ть отрицательное влияние
азота на процессы превраще-
ния веществ в семени до об-
разования фотосинтезирую-
щего аппарата, требуется не-
которая изоляция азота удо-
брений от семени.

Фосфорные удобрения,
внесенные в рядки вместе с
семенами, наоборот, способ-
ствуют более экономному
расходу пластических
веществ семени вследствие
более медленного гидролиза крахмала и пониженной активности окис-
лительных ферментов.

Таблица 5

Общий вес и вес корней 100 растений (в г сырой массы) на
четвертый день после появления всходов

Варианты	Вес корней	Общий вес	Варианты	Вес корней	Общий вес
1/2 смеси Гельригеля без фосфора	7,6	17,6	1/2 смеси Гельригеля без азота	5,4	16,5
1/2 смеси Гельригеля + + фосфор	7,8	17,8	1/2 смеси Гельригеля с азотом	2,2	13,5

Фосфор при появлении у растений ассимиляционного аппарата ведет
к усиленному гидролизу крахмала семени, который более продуктивно
используется на процессы роста.

Всесоюзный институт удобрений,
агротехники и агропочвоведения

Поступило
22 IX 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Г. Шестаков и Е. М. Ноздрунова, ДАН, 78, № 2 (1951); 79, № 1
(1951). ² А. В. Петербургский, Практикум по агрохимии. Сельхозгиз, 1952.
А. Н. Белозерский и Н. И. Проскуряков, Практическое руководство
по биохимии растений, Госиздат, 1951. ⁴ А. И. Смирнов, Биохимия, 5, в. 3
(1940).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Ю. В. РАКИТИН, К. Е. ОВЧАРОВ, В. В. ГРИНЕНКО и В. Ф. ЩЕГЛОВА

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У ХЛОПЧАТНИКА ПРИ ЕГО
ОСЕННЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ЧЕКАНКЕ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 27 II 1954)

Известно ⁽¹⁾, что летняя чеканка хлопчатника благоприятствует развитию репродуктивных органов и заметно повышает урожай этой культуры. В последние годы было показано ⁽²⁻⁴⁾, что наряду с летней чеканкой большое значение имеет и так называемая глубокая осенняя чеканка, заключающаяся в обламывании верхушек у центрального побега и боковых симподиальных и моноподиальных ветвей. Задерживая рост побегов, осенняя чеканка растений ускоряет рост и созревание коробочек, увеличивает урожай хлопка-сырца. Однако в силу своей высокой трудоемкости (порядка 50 человекодней на 1 га) этот прием оказался неперспективным для широкой практики.

В наших исследованиях ставилась задача выяснить возможность применения для осенней чеканки химических препаратов, имеющих высокую физиологическую активность. При этом мы исходили из представления, что на одну и ту же дозу химического препарата различные органы растения должны реагировать по-разному, в зависимости от их физиологического состояния ^(5, 6). Работа проводилась в течение 1950—1953 гг. в хлопковом совхозе «Сталинабадский» Таджикской ССР на посевах хлопчатника 108-Ф.

Первые же наши опыты, проведенные в 1950 г., дали положительные результаты ⁽⁷⁾. Дальнейшие наши исследования были направлены на изыскание наиболее эффективных препаратов, уточнение условий обработки и выявление физиологических изменений, происходящих в растении хлопчатника при его осенней химической чеканке.

Наиболее эффективным препаратом оказалась натриевая соль 2, 4, 5-трихлорфеноксисукусной кислоты (препарат ТУ) в виде водного раствора или дуста (на молотой глине, каолине или тальке). Лучшие результаты давала обработка, проведенная в первых числах сентября. При наземной обработке мы остановились на 0,05% растворе препарата при норме его расхода в 1000 л/га, а при авиаопрыскивании — на 0,3% растворе при норме расхода в 200 л/га. В случае обработки растений путем опыливания оказалось целесообразным применение 1% дуста. Как для наземной обработки, так и для авиаопрыскивания мы избрали норму его расхода в 50—75 кг/га.

Приведем результаты своих исследований по влиянию химической чеканки (опрыскивание растений 0,05% раствором препарата ТУ) на некоторые физиологические процессы у хлопчатника сорта 108-Ф.

На 3-й день после обработки молодые верхушечные листья обработанных растений транспирируют на 16,6% сильнее, чем такие же листья контрольных растений, тогда как листья среднего яруса обработанных растений на тот же срок транспирируют только на 8,5% сильнее контроля. Резко различным оказывается и дальнейшее поведение листьев растений

сопоставляемых вариантов. У верхушечных листьев опытных растений транспирация постепенно возрастает, а у менее чувствительных к препарату ТУ листьев среднего яруса того же варианта она понижается, причем на 15-й день после обработки у первых транспирация достигает 150% от контроля, а у вторых не отличается от контроля. Возрастание транспирации у молодых верхушечных листьев обработанных растений приводит к необратимому увеличению у этих листьев водного дефицита.

О влиянии химической чеканки на фотосинтез можно судить по следующим данным *. Интенсивность ассимиляции CO_2 была (в мг за 1 час на 100 г свежих листьев): у молодых листьев верхушек побегов — контроль 284, при химической чеканке 165; у сформировавшихся листьев среднего яруса контроль 74, при химической чеканке 199.

Из этих данных следует, что химическая чеканка сильно подавляет процесс ассимиляции углекислоты молодыми листьями верхушек побегов и существенно стимулирует усвоение углекислоты сформировавшимися листьями. Следовательно, в результате действия препарата ТУ основная масса листьев (листья среднего яруса, прекратившие рост) начинают сильнее накапливать ассимиляты. Характерно, что под влиянием препарата ТУ в молодых листьях происходит уменьшение содержания хлорофилла, а в выросших, наоборот, содержание его возрастает. На 3-й день после обработки растений в молодых листьях разрушается около 2% хлорофилла, а на 15-й день в этих листьях остается лишь 50% хлорофилла от начального его содержания. В сформировавшихся листьях содержание хлорофилла за те же истекшие после обработки 15 дней возрастает на 30%. В связи с изменением содержания хлорофилла сильно изменяется и окраска листьев. Молодые листья довольно быстро желтеют, а листья, закончившие рост, вначале несколько буреют, но вскоре приобретают темнозеленую окраску. В молодых листьях обработанных растений происходит накопление аммиака, что свидетельствует о глубоком распаде азотсодержащих соединений. На 10-й день после обработки в 100 г сырых

Таблица 1

Изменение форм аскорбиновой кислоты в молодых листьях под влиянием препарата ТУ (анализ произведен 25 IX)

Время после обработки (в днях)	Восстановлен. форма аскорбин. кислоты в мг на 100 г сыр. веса			Дегидроформа
	сумма	свободн.	связан.	
Контроль	165,30	165,30	Нет	Нет
3	109,62	81,78	27,84	Нет
15	87,00	73,08	13,92	52,20

листьев контроля содержится 36 мг аммиака, тогда как в такой же навеске листьев обработанных растений содержание аммиака достигает 103 мг. В сформировавшихся листьях обработанных и контрольных растений содержание аммиака поддерживается почти на одном и том же уровне.

Судя по изменению активности каталазы, препарат ТУ приводит к подавлению окислительных процессов в молодых листьях. На 7-й день после обработки активность каталазы молодых листьев, взятых с обработанных растений, была равна 60 единицам (количе-

ство O_2 в cm^3 , выделившееся из реакционной смеси за 1 минуту при добавлении в смесь 1 г растертой ткани), а таких же листьев, сорванных с растений контроля — только 29 единицам. На каталазную активность листьев, уже закончивших свой рост, препарат ТУ не оказывает заметного действия. О влиянии препарата ТУ на окислительно-восстановительный режим в клетках молодых листьев можно судить также по соотношению форм аскорбиновой кислоты (табл. 1).

Как следует из табл. 1, обработка растений препаратом ТУ приводит к уменьшению содержания общего количества восстановленной аскорби-

* Обработка произведена 3 IX, фотосинтез учитывался по методу Л. А. Иванова. Учет произведен 10 IX.

новой кислоты и изменению соотношения ее форм. Обращает на себя внимание и тот факт, что под влиянием препарата ТУ в молодых листьях происходит накопление дегидроформы аскорбиновой кислоты. Одним из характерных физиологических изменений, происходящих при химической чеканке, является подавление процесса дыхания верхушек побегов. Для постановки опытов по учету интенсивности дыхания верхушки срезались таким образом, чтобы на них было 3—5 молодых листочков. Результаты одного из типичных опытов представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что на 3-й день после обработки интенсивность дыхания верхушек обработанных растений была такой же, как и в контроле, но уже на 15-й день она снизилась на 37%, а на 22 день — на 73%.

Сильно нарушая обмен веществ в верхушках растений, препарат ТУ останавливает рост верхушек и затем приводит к их отмиранию: в первую очередь гибнут точки роста, потом бутоны и, наконец, молодые невыросшие листья. Это в свою очередь приводит к тому, что рост моноподиальных и симподиальных ветвей прекращается. Как показали наши наблюдения, в результате действия препарата ТУ прирост моноподиев в первые 10 дней после обработки сокращается в 7—9 раз, а в дальнейшем сходит к нулю. У обработанных растений погибает 62—73% бутонов, а то время как у растений контроля новообразование их продолжается.

Вызывая отмирание молодых верхушечных листьев, бутонов и точек роста, а также приостанавливая рост более крупных, но еще не закончивших своего формирования листьев, препарат ТУ, как уже отмечалось, стимулирует фотосинтез у основной массы листьев, закончивших рост, и активизирует обмен веществ у формирующихся коробочек. О последнем дают представление результаты наших опытов по учету интенсивности дыхания коробочек обработанных и контрольных растений. Для учета дыхания брались такие коробочки, которые развивались из бутонов, раскрывшихся на следующий день после обработки растений. На 18-й день после обработки молодые коробочки с обработанных растений выделяли 25 мг CO_2 за 1 час на 100 г сырого веса, тогда как такие же по возрасту коробочки контроля выделяли соответственно только 16,7 мг углекислоты.

В результате химической чеканки в растениях создаются условия, благоприятствующие росту коробочек. Так, например, сырой вес хлопксырца 28-дневной коробочки контрольных растений был равен 4,86 г, 40-дневный — 11,52 г, у обработанных растений соответственно 5,37 г и 15,17 г.

Таблица 3

Сравнительное влияние ручной и химической чеканки на урожай хлопчатника (площадь делянки 250 м²)

Варианты	I повторн.		II повторн.		III повторн.		Среднее	
	ц/га	в % к контролю	ц/га	в % к контролю	ц/га	в % к контролю	ц/га	в % к контролю
Контроль	38,0	100	47,6	100	43,2	100	42,9	100
Ручная чеканка . .	43,2	114	53,2	112	46,0	107	47,5	110
Химическ. чеканка	47,2	124	54,5	114	51,6	119	51,1	119

Сравнение эффективности химического способа чеканки хлопчатника с удалением верхушек побегов вручную показывает преимущество механизации этого процесса с применением химического препарата ТУ (см. табл. 3).

Ручная чеканка повысила урожай в среднем на 10,8%. Эти результаты согласуются с данными, полученными другими авторами (2-4). Как видно из табл. 3, химическая чеканка дала повышение урожая в среднем на 18,9%. Производственные опыты, проведенные в ряде районов хлопководства, показали, что осенняя химическая чеканка при условии сильного вторичного отрастания повышает урожай на 3,5—9 центнеров с га при общей урожайности порядка 50 центнеров с га. Применение химического способа увеличивает эффект чеканки. Это делается понятным, если обратиться к материалам, изложенным выше. Помимо сокращения затрат питательных веществ на рост верхушек побегов и бутонов, где действие химического и ручного способов аналогично, химический препарат усиливает физиологическую деятельность наиболее продуктивных листьев среднего яруса.

Таким образом, эффективность химической чеканки хлопчатника обусловлена прежде всего тем, что под влиянием препарата ТУ изменяется характер распределения питательных веществ в растении. Задерживая рост побегов и молодых листьев, а также прекращая новообразование вегетативных и репродуктивных органов, химическая чеканка тем самым улучшает питание хозяйственно ценных коробочек. Наконец, существенное значение имеет тот факт, что препарат ТУ активизирует обмен веществ в коробочках, благодаря чему в последних ускоряется переработка питательных веществ в структурные образования клеток и происходит усиление притока питательных веществ к коробочкам.

Полученные данные показывают, что осенняя химическая чеканка является перспективным приемом, заслуживающим более широких производственных испытаний.

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР
и Институт ботаники Академии наук Тадж.ССР

Поступило
16 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. Д. Лысенко, А. А. Авакян, Чеканка хлопчатника, М., 1931.
² Г. К. Григорьян, Изв. АН Арм.ССР, 2, № 4 (1949). ³ Г. Г. Туманян, Изв. АН Арм.ССР, 2, № 4 (1949). ⁴ Г. А. Евтушенко, Наставление для проведения производственных опытов по осенней обрезке хлопчатника. Фрунзе, 1950.
⁵ Ю. В. Ракитин, Инст. физиол. раст. им. К. А. Тимирязева АН СССР, М., 1943.
⁶ Ю. В. Ракитин, Усп. совр. биол., 36, в. 3(6) (1953). ⁷ Ю. В. Ракитин, К. Е. Овчаров, ДАН, 80, № 1, 117 (1951).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. М. СТОРОЖЕВА

**ВЛИЯНИЕ МЕДИ И БОРА НА ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ
КОРМОВЫХ ТРАВ И МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ КЛЕВЕРОВ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 25 II 1954)

Влияние меди и бора на развитие растений, в частности на повышение урожая, отмечают многие исследователи. Кроме того, ряд авторов отмечает повышение морозоустойчивости у растений под влиянием некоторых микроэлементов, в том числе и меди. Так, М. М. Окунцев и М. Н. Силева⁽³⁾ путем внесения меди в почву, а также обработки медью семян при их яровизации, достигли значительного повышения холодоустойчивости озимых хлебов.

М. Я. Школьник⁽⁵⁾ в исследованиях с апельсинами обнаружил некоторое повышение морозоустойчивости под влиянием микроэлементов, особенно марганца, цинка, меди и макроэлемента кальция.

Фрэмэн (цитировано в⁽⁵⁾) показал, что сернокислая медь может предотвратить преждевременное замерзание растений на болоте.

Л. И. Сергеев и К. А. Сергеева⁽⁴⁾ отмечают повышение морозоустойчивости растений при действии алюминия. Лоулес⁽⁶⁾ сообщает о повышении морозоустойчивости citrusовых под влиянием цинка, меди, марганца и магния, внесенных совместно с NPK. Исключение одного или нескольких микроэлементов в его опыте приводило к снижению морозоустойчивости.

В целях выявления действия удобрений и некоторых микроэлементов (Cu, B) на рост и развитие кормовых трав в условиях Северного Зауралья, в 1950 г. нами были заложены опыты на одном из осваиваемых Ивдельских болот. С этой целью была высеяна травосмесь (клевер, тимopheевка, бекмания, мятлик болотный, мятлик луговой, лисохвост луговой) на фоне различных удобрений (контроль P, NP, NPK, NPKCu, NPKB, NPKCuB). Размер опытных делянок 100 м². Повторность четырехкратная. Кроме того, был заложен питомник кормовых трав (набор злаков и одиннадцать популяций клевера), на котором было внесено полное удобрение (NPK) и Cu. Медь внесена на опытном поле и питомнике в форме медного купороса из расчета 20 кг/га. Бор внесен в форме буры тоже из расчета 20 кг/га. Необходимо отметить, что перед постановкой опытов проведено известкование торфяной почвы опытного участка с доведением кислотности почвы до pH 5,5—6. Итоги анализов и наблюдений в нашем опыте заслуживают внимания. Так, медь на площадках с применением полного удобрения дала повышение урожая на 84%, а бор — на 60%. Наибольший эффект получен от совместного действия меди и бора, давших повышение урожая на 94%.

Урожайность сырой массы травосмеси на фоне различных удобрений в процентах к контролю была:

Комплекс удобрений	Контроль	P	NP	NPK	NPKCu	NPKB	NPKCuB
Урожай в %	100	110	120	133	184	160	194

Таким образом, наиболее эффективной на болотных почвах Северного Зауралья оказалась медь. Кроме того, в опыте удалось выявить интересный факт положительного влияния меди и меди совместно с бором на морозоустойчивость клевера. В 1952 г., весна которого характеризовалась поздними сильными заморозками, погубившими посевы клевера во всех хозяйствах Северного Зауралья, на наших опытных делянках, на которых была внесена медь, клевер полностью сохранился, вполне удовлетворительно развивался и обильно цвел. Весовой ботанический анализ травостоя с делянок с медью показал содержание клевера в травосмеси 17%. Бор также обеспечил некоторую сохранность клевера (6,2%). Но наибольший эффект получен от совместного действия бора и меди (24,8%). На делянках без бора и меди, несмотря на наличие тех или других удобрений, клевер почти полностью выпал. Только на некоторых делянках кое-где сохранились в вегетативном состоянии слабо развитые растения.

Приведем данные о содержании клевера в травосмеси на фоне различных удобрений:

Комплекс удобрений	Контроль	P	NP	NPK	NPKCu	NPKB	NPKCuB
Содержание клевера в % . . .	0,07	0,45	1,6	0,4	17,0	6,2	24,8

На питомнике, где во всех делянках были внесены полное удобрение (NPK) и медь, все одиннадцать популяций клеверов сохранились, нормально развивались, обильно цвели и плодоносили. Таким образом, медь повысила устойчивость клевера и дала ему возможность перенести крайне неблагоприятные условия весны 1952 г.

Рядом исследований была частично вскрыта причина повышения морозоустойчивости растений под влиянием действия меди и других микроэлементов. Г. В. Заблуда ⁽¹⁾ отмечает способность меди повышать стабильность коллоидов белково-пигментного комплекса пластид, что, по его мнению, улучшает процессы образования и тормозит процессы разрушения хлорофилла. Им было доказано повышение устойчивости хлорофилла в листьях под влиянием меди и выяснено, что повышенной устойчивости хлорофилла в этих случаях соответствует повышенная устойчивость пластид, в связи с чем дольше сохраняется жизнь отдельных клеток, а в общей сложности и целых органов. М. М. Окунцев ⁽³⁾ также отмечает способность меди оказывать специфическое действие на хлорофилл в смысле его стабилизации и предохранения от разрушения. Все это дает в руки работников сельского хозяйства могучее средство по управлению природой растений и осуществлению их направленного воспитания.

Особенно большое значение приобретают микроэлементы Cu и B для продвижения клеверосеяния в Северное Зауралье, где часто наблюдается полное выпадение клеверов.

Ивдельский научно-исследовательский стационар
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
9 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Заблуда, Тр. Чувашск. с.-хоз. инст., 1, в. 1 (1938). ² М. М. Окунцев, Тр. конф. по микроэлементам, 1950 г., стр. 371—380. ³ М. М. Окунцев и М. Н. Силева, Уч. записки Томск. гос. ун-в., № 3 (1950). ⁴ Л. И. Сергеев и К. А. Сергеева, ДАН, 22, № 9 (1939). ⁵ М. Я. Школьник, Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. Изд. АН СССР (1950). ⁶ W. W. Lawles, Citrus Industr., 22, No. 8 (1941).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. П. ЩЕРБАКОВ

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О НАКОПЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЗОЛЫ И АЗОТА
РАЗЛИЧНЫМИ ТКАНЯМИ ДВУХЛЕТОК ХВОЙНЫХ ПОРОД**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 20 XI 1953)

Известно, что различные ткани одного и того же органа физиологически неравноценны. Более того, в процессе роста и развития растительного организма одни и те же органы и образующие их ткани изменяют свои физиологические функции. Наиболее полно эти различия показаны в отношении анатомического строения, фотосинтеза, дыхания, транспирации, ферментативных процессов ⁽¹⁻⁹⁾ и несколько менее в отношении потребления и накопления питательных веществ почвы ⁽¹⁰⁾. Последнее еще в меньшей мере освещено для сеянцев древесных пород, чем для сельскохозяйственных культур ⁽¹¹⁾.

В связи с этим представляло интерес проследить распределение элементов золы и азота в различных частях надземных и подземных органов сеянцев хвойных пород в течение вегетационного периода *.

Материалом служили сеянцы двухлеток ели, сосны и лиственницы, выросшие на среднеподзоленном суглинке Подмосковного лесхоза (Черкизово). Образцы растений брались ежемесячно, начиная с 19—24 IV до 1—2 XI 1948 г. Взято всего 7 проб. Методика взятия проб описана нами в предыдущих работах ⁽¹²⁾. Здесь укажем лишь некоторые методические детали, ранее не отмеченные нами. Начиная со второго срока взятия проб у сосны и с третьего срока у ели, стволики вместе с хвоей и корни (последние у лиственницы — с первого срока) делились на две или три части, причем в верхней части (верхний ярус — помеченный в таблице знаком I) были представлены календарно наиболее молодые хвоинки, верхняя часть стволика и преимущественно тонкие всасывающие корни; в средней части (средний ярус — II) несколько более старые хвоинки, ткани стволика и более молодая проводящая часть корневой системы и в нижней части (нижний ярус — III) календарно самые старые хвоинки, ткани стволика и наиболее толстая, старая часть проводящей системы корня. Если рассматривать это деление тканей хвои, стволиков и корней в свете теории Кренке ⁽⁶⁾, то первая группа тканей будет представлять собою наиболее старые по возрасту, вторая менее старые и третья — самые молодые части этих органов.

В первые два срока взятия проб — в апреле и в мае — хвоя и стволики у сосны и ели, а также стволики у лиственницы анализировались целиком, без деления. У лиственницы в апреле и в ноябре хвоя не могла быть проанализирована, так как она или еще не образовалась или уже опала.

В таблице 1 даны результаты анализов, характеризующие распределение золы, кальция и магния в различные сроки вегетационного периода.

* В первичном учете и обработке исследуемого материала принимала участие А. А. Лазарева; химические анализы выполнены В. Ф. Валиковой.

Содержание золы, кальция и магния в различных частях надземных и подземных органов двухлетних сеянцев ели, сосны и лиственницы (в % на сух. вес)

[illegible]

Из этих данных необходимо отметить, что в хвое ели, сосны и лиственницы процентное содержание золы, кальция и магния, как правило, повышается от верхнего яруса — самых молодых хвоинок — к нижнему — старым хвоинкам. Несколько менее определенную картину показывает хвоя сосны и отчасти лиственницы в отношении магния; в этих случаях наблюдалось иногда более высокое содержание магния у хвоинок, расположенных в среднем ярусе стволика (II), по сравнению с верхними, более молодыми (I), и нижними (III), более старыми. Содержание калия, азота и фосфорной кислоты, как показали наши исследования, наоборот, закономерно снижалось от верхних хвоинок к нижним, календарно более старым у всех растений.

В стволиках и корнях картина была иная. Накопление элементов золы и азота в этих органах во всех случаях снижалось от календарно молодых к старым тканям. Некоторое исключение представляла лишь лиственница, в стволиках которой содержание золы, кальция и магния снижалось от верхней, наиболее молодой части к средней и затем снова повышалось в нижней, имеющей наиболее старые ткани. Особенно это резко было выражено в июле и в августе (4 и 5 сроки).

Следовательно, распределение золы, кальция и отчасти магния в хвое у сеянцев хвойных пород представлено в ином плане, чем в стволиках и в корнях. Если в хвое более старые хвоинки характеризовались накоплением этих элементов питания, то в осевых органах, наоборот, наиболее молодые ткани имели и более высокое содержание золы, кальция и магния. Поэтому существующая до сих пор точка зрения, что кальций накапливается в стареющих органах и тканях, если возраст последних рассматривать календарно, по крайней мере в отношении стволиков и корней двухлетних сеянцев хвойных пород, не получает подтверждения. Подобная точка зрения может быть принята только для хвои. Не укладываются отмеченные нами закономерности распределения золы, кальция и магния в различных по возрасту тканях хвои, корней и стволиков и в теорию циклического старения и омоложения растений Н. П. Кренке (6). Опираясь на наши данные, можно лишь сказать, что закономерности накопления, а также и потребления золы, кальция и магния в различных по возрасту (календарному или по Кренке — безразлично) листовых органах не могут распространяться на подобные же возрастные ткани других органов. Очевидно также, что у сеянцев древесных пород, в отличие от однолетних растений, продолжительность полного цикла развития листовых органов отличается от продолжительности развития стволиков и корней, что проявляется в различиях потребления и накопления некоторых питательных веществ.

Как сказывается, вывод о распределении кальция в связи с изменением возраста тканей и органов сделан был Д. А. Сабининым и другими стечественными и зарубежными исследователями на основании только анализа листьев и произвольно распространен на другие органы (10).

Далее интересно отметить, что процентное содержание элементов золы и азота в течение вегетационного периода в различных тканях хвои, стволиков и корней изменяется, то повышаясь, то снижаясь; причем эти изменения не всегда обуславливаются изменениями температуры и влажности внешней среды и отражают специфические особенности обмена различных пород и их органов. Ранее отмеченная нами периодичность накопления сухого вещества в различных органах двухлетних сеянцев (12) получила в данной работе подтверждение в периодичности накопления питательных веществ почвы, хотя и не совпадающей во времени и по уровню. Однако эти факты заслуживают более детального рассмотрения.

Наконец представляет известный интерес факт одновременного накопления магния и кальция в тканях рассмотренных пород, особенно резко выраженный на лиственнице.

До сих пор было известно, что кальций является антагонистом магния и при высоком поступлении первого в растение, поступление магния должно тормозиться. Наши данные не позволяют утверждать этого. Более того, если выразить наши данные по накоплению кальция и магния (табл. 1) в миллиэквивалентах, то можно легко убедиться, что поступление магния (особенно в листовенницу) не только не тормозилось повышенным поступлением кальция, но даже возрастало. Этот факт также представляет интерес для изучения специфических особенностей зольного питания сеянцев древесных пород (13).

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
20 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Р. Заленский, Изв. Киевск. политехн. инст., 4, 1, 1 (1904). ² В. Р. Заленский, Изв. Саратов. унив., 4 (1923). ³ В. Г. Александров, Зап. Научно-прикл. отд. Тифлисс. бот. сада, 3, 1 (1922). ⁴ А. И. Смирнов и сотр., Тр. Гос. инст. табаковод., 46 (1928). ⁵ С. Д. Львов и Л. Н. Березнеговская, Эксперимент. ботаника, сер. 7, 1, 135 (1934). ⁶ Н. П. Кренке, Теория циклического старения и омоложения растений. М., 1940. ⁷ А. Л. Курсанов, Физиология растений. Курс ботаники, 1, 3 (1940). ⁸ Н. М. Сисакян, Биохимическая характеристика засухоустойчивости растений, 1940. ⁹ А. П. Щербаков, Биохимия, 10, 1 (1945). ¹⁰ Д. А. Сабинин, Минеральное питание растений, 1940. ¹¹ А. П. Щербаков, ДАН, 81, № 3 (1951). ¹² А. П. Щербаков и А. А. Лазарева, Бюлл. МОИП, Отд. биологии, 57 (1) (1952). ¹³ А. П. Щербаков, ДАН, 70, № 6 (1950).

Н. В. ЕВРОПЕЙЦЕВА

**СВЯЗЬ МЕЖДУ ХАРАКТЕРОМ РОСТА И ПЕРЕХОДОМ В ПОКАТНОЕ
СОСТОЯНИЕ У МОЛОДИ ОЗЕРНОГО ЛОСОСЯ (*SALMO SALAR*
L. m. SEBAGO GIR.)**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 17 II 1954)

Переход в покатное состояние у проходных лососей представляет особый биологический этап, в течение которого формируются свойства молоди, необходимые для жизни в новой среде — море или озере (¹⁻³). При исследовании изменений организма у молоди ладожского лосося, связанных с переходом в покатное состояние в прудовых условиях, автору (совместно с Нусенбаумом, 1951—52 гг.) приходилось наблюдать следующие явления: среди годовиков в пределах одной размерной группы (при посадке), воспитываемых в условиях одного и того же пруда и достигших к моменту наблюдения сходного размера, часть приобретала экстерьер и окраску, характерные для покатной молоди — серебрянок, другая же часть в серебрянок не превращалась. Последние, названные нами серебристыми лососями, отличались от серебрянок сходного размера меньшей прогонистостью (рис. 1), особенностями окраски (различные поперечные полосы

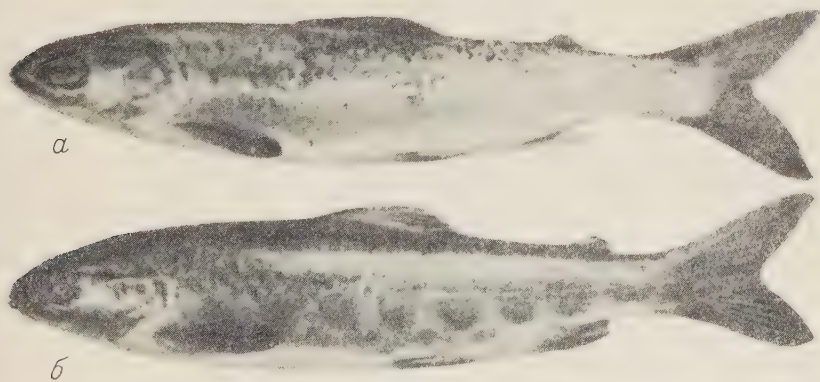


Рис. 1. Молодь ладожского лосося, выращенная в условиях одного пруда. Возраст 15 мес. *а* — серебрянка; длина 14,7 см, вес 31 г; *б* — серебристый; длина 14,7 см, вес 36 г

и красные пятнышки, желто-зеленоватый оттенок тела и плавников, сероватый оттенок брюшка), большей упитанностью и хорошим развитием полостной жировой ткани. Свойственные серебрянкам и серебристым лососям особенности обусловлены, повидимому, разницей в уровне и характере обмена. Большая упитанность, наличие полостного жира и меньшая прогонистость серебристых лососей свидетельствует о том, что интенсивность объемного роста у них выше, чем у серебрянок.

Таблица 1

Характеристика молоди лосося в разные периоды выращивания

Характеристика молоди лосося в разные периоды выращивания														
Хорошие по кормности условия. Посадка 10 X				Спуск пруда 12 VI 1953 г.										
Размерная группа	Контрольный облов 8 V 1953 г.			Число	Средний вес в г	Особенности окраски	Число	в том числе						
	Число	Средний вес в г	серебрянки					почти серебрянки		серебристые		серебристые пестряки		
			число					средний вес в г	число	средний вес в г	число	средний вес в г	число	средний вес в г
Хорошие по кормности условия. Посадка 10 X														
Самые крупные	27	14,2	4	16,7	Серебристые	23	30,8	13	29,9	4	27,5	5	32,6	
	63	11,2	9	12,4	Серебристые	39	19,2	4	23,9	6	21,7	29	18,1	
	99	8,2	8	10,1	Серебристые и серебристые пестряки	64	17,5	—	—	5	24,7	59	16,9	
Средние						479**	16,9	13	29,1	40	23,4	291	19,2	
Без разделения на группы (немеченные)	405	8,0	93	9,0	Серебристые, серебристые пестряки, пестряки, одна почти серебрянка								10,6	
Плохие по кормности условия. Посадка 15 X														
Крупные	21	10,4	5	12,0	Серебристые	46	17,5	—	—	—	—	16	17,5	
	86	8,6	4	10,0	Серебристые пестряки	53	16,3	—	—	—	—	33	16,3	
	990*	6,3	250	8,0	Пестряки и серебристые пестряки	936	14,5	1	20,0	3	19,8	932	14,5	
Мелкие														
Всего	1691	7,3	373	8,7		1610	15,7							

* В том числе 66 из пруда с хорошими условиями.

** В отдельных группах показано рыбам меньше, чем фактически выловлено.

из них плохо сохранилась метка тушью и они были учтены как немеченные. По той же причине в группе не-

Нас интересовал вопрос о причинах образования столь различающихся групп среди молоди, однородной по возрасту, при одинаковых линейных размерах, и находящейся в одинаковых условиях.

Повидимому, объяснение указанного явления следует искать в предшествующей истории развития молоди и, возможно, в характере роста на более ранних этапах развития. Без выяснения особенностей роста и развития в течение первого года жизни, которые влияют на превращение в серебрянок, не может быть решена задача управления переходом в покатное состояние.

Исходя из изложенного, мы поставили задачу проследить влияние исходного веса сеголетков и разных условий развития в первый год жизни на превращение их в серебрянок. Для этой цели осенью 1952 г. в один из прудов Приозерского рыбного завода площадью 1700 м² было отсажено 1690 сеголетков ладожского лосося. Большая часть молоди была разбита на размерные группы, каждая из которых снабжалась особой меткой. Сеголетки лосося отбирались из числа молоди, воспитываемой в прудах, различающихся по условиям выращивания.

В табл. 1 представлена характеристика молоди в разные периоды и до конца выращивания. Приведенные данные показывают, что наибольшее количество серебрянок и рыбок весьма близких по окраске к серебрянкам — почти серебрянок — оказалось среди молоди, имевшей средний вес в возрасте 5,5 месяцев (сеголетки) 14,2 г, к началу второго года жизни 16,7 г, а к моменту спуска пруда 30,3 г. Затем следует молодь со средним весом сеголетков 11 г, годовиков 12 г и к спуску пруда 19,9 г — 25% серебрянок.

Кроме того, в пруду выращивалось 405 штук сеголетков, которые не разбивались на размерные группы. Средний вес их к 10 октября достиг 8,0 г, к концу первого года 9,0 г, а к моменту спуска пруда 16,9 г, с колебаниями от 8 до 35 г. В этой группе из 43 шт. молоди, достигшей к моменту спуска пруда среднего веса 31,9 г, было обнаружено 10 серебрянок. Среди молоди со средним весом 22,4 г учтено 10 рыбок, близких по окраске к серебрянкам, и 3 серебрянки. Молодь, не превратившаяся в серебрянок, относилась по особенностям окраски к серебристым лососям и серебристым пестрякам.

Полученные результаты с несомненностью показывают, что высокий темп роста в первое лето жизни способствует ускоренному превращению в серебрянок, т. е. достижению покатного состояния в наиболее раннем возрасте.

Сравнение полученных данных с результатами опытов 1952 г. показало, что в 1952 г. серебрянки, пойманные из прудов в мае и половине июня, имели вес от 10 до 24 г (чаще 13—16 г), редко 10 г. Выяснилось также, что период формирования свойств серебрянок у лососей второго года жизни приходится на конец мая — начало июня, у молоди третьего года жизни — преимущественно на первую половину мая. Таким образом, оказывается, что в опыте 1953 г. молодь лосося был достигнут, а в ряде случаев и превышен средний вес, характерный для серебрянок, добытых из прудов в соответствующий период 1952 г., и несмотря на это большинство молоди не превратилось в серебрянок.

Для объяснения полученных результатов мы обратились к анализу

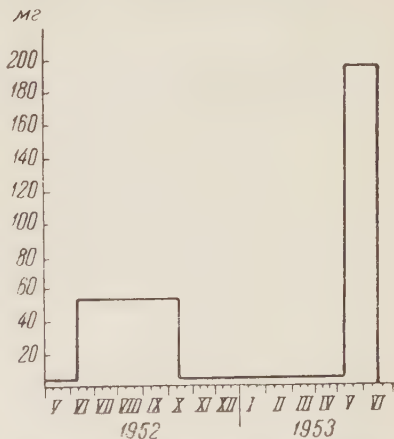


Рис. 2. Средний суточный прирост в весе у молоди ладожского лосося. 1952—1953 гг.

особенностей роста в разные периоды выращивания. На графике (рис. 2) изображен среднесуточный прирост молоди лосося в отдельные периоды выращивания, характеризующий интенсивность роста. Как видно из графика, наибольшей интенсивности достиг рост молоди в период с 8 мая по 12 июня. Проявление же наиболее бурного роста следует, повидимому, отнести к еще более сжатому сроку: вторая половина мая — первая половина июня, так как кормность пруда достигала максимального развития именно в этот период. Температурный режим пруда был также особенно благоприятным для повышенной интенсивности роста у молоди — среднесуточные температуры воды в указанный период были на 3—5° выше обычных.

Поэтому можно высказать предположение о возможности несовпадения условий, обеспечивающих бурный рост, с одной стороны, и условий, необходимых для перехода в покатное состояние — с другой. Возможно, что в опыте 1953 г. высокая интенсивность роста, проявившаяся именно в тот период, когда обычно происходит формирование свойств серебрянок, оказала на этот процесс тормозящее влияние. В этом случае высокая интенсивность роста могла изменить соотношение между процессами линейного и объемного роста в направлении, характерном для серебристых лососей, т. е. усилить интенсивность объемного роста, в результате чего большинство молоди достигло среднего веса, характерного для майских и июньских серебрянок, но в серебрянок не превратилось.

Только у части наиболее крупных лососей, у которых формирование свойств серебрянок начинается обычно раньше, в первой половине мая, этот процесс успел осуществиться до начала высокой интенсивности роста.

Если интенсификация роста в период формирования свойств серебрянок может препятствовать осуществлению этого процесса, то вопрос о том, на каких этапах следует максимально ускорять рост, приобретает особое значение при разработке методики управления переходом молоди в покатное состояние.

Биологический институт
Ленинградского государственного университета
им. А. А. Жданова

Поступило
12 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ K. R. Allen, J. of Animal Ecology, 13, No. 1 (1944). ² Л. С. Берг, Рыбы пресных вод, 1 (1948). ³ Г. В. Никольский, Н. А. Громчская, Г. И. Морозова и В. А. Пикулева, Рыбы бассейна Верхней Печоры, 1947.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

А. А. БРАУН и К. М. АКЫЛБЕКОВ

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РЕНТГЕНИЗАЦИИ
РЕЦИПИЕНТА ПРИ ГОМОПЛАСТИКЕ КОЖИ У КРЫС**

(Представлено академиком А. И. Абрикосовым 6 II 1954)

Проблема гомопластики кожи до сих пор не получила своего разрешения. Общепринятая точка зрения на данный вопрос заключается в том, что попытка гомо- и гетеропластики обречена на неуспех ⁽⁵⁾. Практическое же использование в хирургии гомотрансплантации кожи обосновывается применением этого метода для временного перекрытия больших дефектов в целях предохранения от чрезмерной потери белка и истощения больного. Гомотрансплантаты кожи у человека, даже вначале хорошо прижившие, спустя 1—2 мес. после пересадки исчезают. До последнего времени и в отношении млекопитающих животных господствовало мнение о невозможности полного и длительного приживания и нормального функционирования гомотрансплантатов кожи ⁽⁴⁾. Гомотрансплантаты, хорошо прижившиеся в первые дни после операции, неминуемо отторгаются обычно в конце третьей — начале четвертой недели. Это явление объясняют биологической, биохимической несовместимостью трансплантата и хозяина. В отношении гомопластики считают ^(6, 7), что в настоящее время основным вопросом трансплантации является не хирургическая техника пересадки, а проблема биологического характера — отыскание способов уменьшения реакции организма реципиента на трансплантат, т. е., иными словами, преодоление биологической несовместимости трансплантата и хозяина. По данному пути и пошли кафедры биологии и гистологии Киргизского государственного медицинского института. В экспериментах с пересадкой кожи от новорожденных крысят на половозрелых двухмесячных крыс удавалось получать путем повторного применения медикаментозного сна ^(2, 3) во всех случаях полное и длительное приживание трансплантатов, достигающих по размерам примерно половины площади кожи хозяина.

Мы пошли по пути преодоления невосприимчивости гомотрансплантата рентгенизацией организма хозяина. Основанием для этого послужили хорошо известные факты, говорящие о том, что облучение значительной дозой рентгеновских лучей приводит к торможению тканевых процессов. В литературе имеются указания ⁽⁶⁾ на использование метода рентгенизации при гомопластике в целях истинного приживания трансплантата, однако эти попытки не дали положительных результатов.

Первая серия опытов была проведена нами на белых лабораторных крысах. Пересаживалась голая, безволосая кожа новорожденных крысят на спинную поверхность половозрелых крыс 2—2½-месячного возраста. В одних случаях использовалась в качестве донора вся кожа крысенка за исключением кожи головы и конечностей, в других случаях — кожа дорзальной половины туловища. Такие пересадки были сделаны на 7 крысах. Крысы облучались за день до пересадки в условиях поверхностной рентгенотерапии — при 90 в, 4 ма, фильтр 1 мм Al, расстояние 24 см. Крысы

растягивались на станке и облучались со стороны спины; при этом экранировалась лишь голова подопытных животных. Облучение производилось однократно, дозой 1000—1200 г.

Из 7 крыс только у одной трансплантат не прижился с самого начала. Он приобрел вскоре после пересадки по внешнему виду характер струпа и через две недели отпал. Заживление дефекта в коже хозяина произошло

путем стягивания краев раны. Через месяц после операции был замечен лишь след от раневого дефекта в виде узкого рубца.

У остальных 6 крыс имелось хорошее первичное приживление трансплантатов. Уже со второго дня наблюдалось сильное покраснение трансплантатов, обусловленное врастанием в них кровеносных сосудов. Через 7—10 дней трансплантаты покрылись густой шерстью. Шерстный покров на трансплантатах в дальнейшем стал особенно пышным, и благодаря этому трансплантат через месяц после пересадки хорошо выделялся, ясно ограничиваясь от кожного покрова хозяина.

С ростом крысы наблюдалось увеличение площади трансплантата. Шерстный

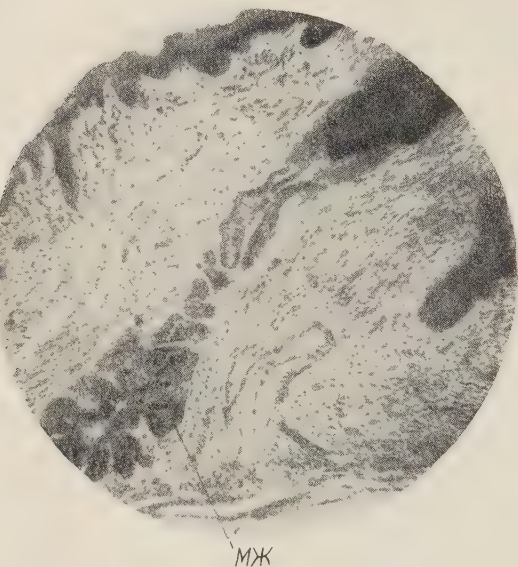


Рис. 1. Микрофотография среза через сосок и молочную железу донора, развившуюся и просуществовавшую 16 мес. на спине реципиента.
× 70. МЖ — молочная железа

покров на трансплантате оставался густым на всем его протяжении. Однако с начала четвертого месяца после пересадки у всех крыс начали появляться на трансплантатах отдельные язвочки. Они быстро заживали, но на смену им появлялись такие же язвочки в других местах. В этих участках кожа после заживления оставалась некоторое время голой, но затем такие небольшие плешинки снова покрывались шерстью. У одной из крыс через полгода после пересадки вся площадь трансплантата оголилась и его поверхность приобрела блестящий вид. В дальнейшем этот трансплантат стал постепенно уменьшаться в размерах и в итоге был вытеснен кожей хозяина.

У 5 опытных крыс трансплантат сохранил хороший шерстный покров до смерти животного. Одна из этих крыс погибла через 6 мес. после трансплантации, другая через 11 мес., а три были забиты через 16 мес. т. е. примерно на половине срока жизни крысы. На шкурке, снятой с опытной крысы, трансплантат занимает всю центральную часть дорзальной области. Он расположен под небольшим углом к средней линии. У переднего края трансплантата видны две небольшие ямки. Это остатки оснований ушных раковин донора, захваченных при пересадке. На гистологических срезах через эти ямки хорошо видны пластинки эластического хряща, сохранившие типичное для них строение. У этой же крысы оказались хорошо развитыми два ряда сосков донора, расположенные на спинной стороне хозяина. Рис. 1 иллюстрирует нормальную гистологическую структуру такого соска. На препарате видна редуцированная молочная железа с выводным протоком.

Представляет особый интерес тонкое строение дермы в участках трансплантата, расположенных латеральнее от сосков. Соски в данном случае

как бы маркируют брюшную часть кожного покрова донора. Эта брюшная часть кожи развивалась и длительное время существовала на спинной стороне хозяина, т. е. в несвойственных ей условиях. Известно, что дерма на спинной стороне крысы отличается от дермы на ее брюшной стороне по целому ряду признаков ⁽¹⁾. Коллагеновые пучки ее механического, сетчатого слоя в области спины толсты, имеют в диаметре 15—20 μ и переплетаются в различных направлениях. Коллагеновые пучки в этом слое дермы на брюхе тонки (4—6 μ в диаметре) и расположены преимущественно параллельно поверхности кожи, переплетаясь в тангенциальных (горизонтальных) плоскостях. Кроме того, дерма вентральной области пронизана сетью гладких мышечных пучков, также ориентированных параллельно поверхности.

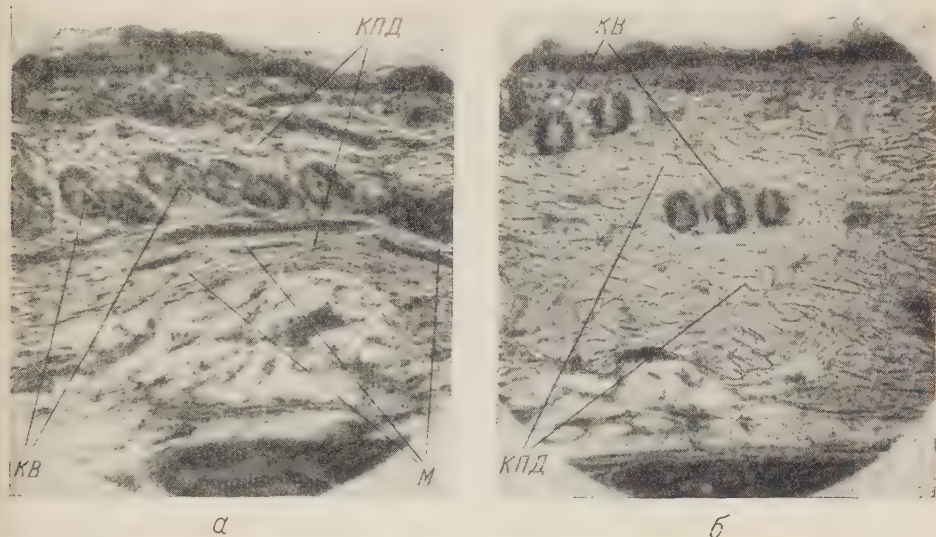


Рис. 2. Микрофотографии срезов через кожу брюха крысы. а — кожа реципиента. б — кожа донора, развивавшаяся и просуществовавшая 16 мес. на спине реципиента, $\times 70$. КВ — корни волос, М — пучки гладких мышечных волокон, КВД — коллагеновые пучки дермы

На рис. 2 а дана микрофотография вентрального среза через кожу брюха реципиента. На срез попал пучок гладких мышечных волокон, лежащий в толще дермы. Коллагеновые пучки дермы лежат горизонтально. Их толщина равняется преимущественно 4—7 μ . Структура дермы донора латеральнее от линии сосков в большей или меньшей степени отличается от строения дермы, типичного для брюшной части кожного покрова. В одних случаях (рис. 2 б) она приближается здесь по своей микроструктуре к дерме спинной части кожного покрова. Коллагеновые пучки образуют сложную вязь, петли которой перебиваются в различных направлениях. Толщина коллагеновых пучков преимущественно 11—18 μ . Горизонтальные гладкомышечные пучки отсутствуют. В других случаях картины носят промежуточный характер. Имеются отдельные горизонтально расположенные пучки гладких мышечных волокон большей или меньшей толщины. Коллагеновые пучки переплетаются в разных плоскостях, но по толщине они в меньшей степени отличаются от коллагеновых пучков дермы брюшной части кожного покрова.

Таким образом, мы видим, что при развитии и длительном существовании кожи на несвойственном ей анатомическом участке тела происходит большая или меньшая перестройка ее дермы в соответствии с новыми условиями существования ткани. Обнаруженные нами факты еще раз

свидетельствуют о ведущей роли условий существования в формировании тканевых структур.

Следующие опыты были проведены одним из нас (Акылбековым) на белых крысах из смешанного стада, полученного в результате скрещивания белых и серых крыс. Как и в I серии, реципиенты были в возрасте 2—2½ мес. Трансплантировалась вся кожа туловища новорожденных крысят. 17 крыс облучались за сутки до трансплантации. Условия облучения были те же, что и в предыдущей серии опытов, но доза облучения была 500 г. Для контроля были поставлены опыты на 11 необлученных крысах. К настоящему времени с момента пересадок прошло около 4 мес.

В первые дни после пересадки кожи у опытных и контрольных животных наблюдались отеки и покраснение трансплантатов. Примерно на 10—12-й день на трансплантатах появлялась шерсть. Она хорошо развивалась в тех случаях, когда имело место стойкое приживание трансплантатов.

Несмотря на хорошее первичное приживание трансплантатов, у 10 из 11 контрольных крыс пересаженная кожа в дальнейшем некротизировалась и отторгалась. Лишь у одной контрольной крысы произошло длительное приживание части трансплантата — через 3½ мес. после пересадки сохранилась часть кожи донора, по площади равная приблизительно половине ее первоначальной величины. Этот участок кожи был одет нормальным шерстным покровом.

Из 17 рентгенизированных крыс полное и длительное (до 3—4 мес.) приживание гомотрансплантатов наблюдалось у 6 крыс. Мы пока не можем сказать, зависит ли здесь меньший процент положительных случаев от меньшей дозы облучения, или же это связано с иными биологическими свойствами бывших под опытами белых гибридов. В подтверждение вероятности этого последнего предположения можно указать на тот факт, что такие гибриды при попытке облучить их рентгеновскими лучами в дозе 1000 г погибали у нас в первые же дни после рентгенизации, в то время как чистопородные белые крысы такого же возраста хорошо переносили эту дозу облучения.

Подытоживая результаты проведенных нами экспериментов, мы можем сказать, что применением предварительной рентгенизации хозяина у крыс можно добиться в значительном числе случаев преодоления биологической несовместимости кожи донора и организма реципиента.

Дальнейшие эксперименты с облучением хозяина вне места трансплантации должны выяснить механизм рентгеновского воздействия в данном случае.

Киргизский государственный
медицинский институт

Поступило
18 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Браун, А. И. Лебедева, Уч. зап. каф. анат. и физиол. Ленингр. гос. пед. инст. им. Герцена, 60 (1947). ² М. И. Ефимов, Ш. В. Мусина, ДАН, 77, № 1 (1951). ³ Ш. В. Мусина, ДАН, 84, № 5 (1952). ⁴ А. А. Немиллов, Основы теории и практики пересадки тканей и органов, 1940. ⁵ Б. А. Петров, Свободная пересадка кожи при больших дефектах, 1950. ⁶ Н. П. Синицын, Пересадка сердца как новый метод в экспериментальной биологии и медицине, 1948. ⁷ Е. А. Татаринов, Трансплантация, в Руков. по патол. физиол. под ред. акад. А. А. Богомольца, 1, 1, 1948.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

А. Н. СТУДИТСКИЙ

**РАЗВИТИЕ МИОБЛАСТОВ В ПЕРЕСАДКАХ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ
СЕРДЕЧНО-МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ НА МЕСТО УДАЛЕННОЙ
СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 27 I 1954)

Наши предшествующие исследования (¹, ²) показали, что при трансплантации измельченной скелетно-мышечной ткани на место полностью удаленной мышцы происходит новообразование мышечного органа, которое осуществляется за счет живого вещества, возникающего в очаге регенерации. В ложе удаленной мышцы создаются, повидимому, условия, способствующие формообразовательному процессу. По нашему представлению, этими условиями являются функциональные воздействия. В наиболее отчетливой форме влияние функциональных воздействий находит выражение на третьей — миосимпластической стадии формообразования, когда в регенерирующем мышечном органе возникают нервно-мышечные связи в виде типичных окончаний двигательных нервов. На предшествующей, миобластической, стадии формообразования функциональные воздействия осуществляются, возможно, посредством симпатических нервов, растающих в регенерат вместе с кровеносными сосудами. Наконец, на клеточной стадии формообразования, когда на месте удаленной мышцы возникает модель, состоящая из вещества, не имеющего клеточной структуры, функциональные импульсы осуществляются, повидимому, гуморальным путем.

Справедливость последнего заключения подтверждается опытами с пересадками различных сократимых тканей в измельченном состоянии на место полностью удаленных скелетных мышц.

Пересаженный материал, находясь в ложе удаленной мышцы, образует модель мышечного органа даже в тех случаях, когда нервные связи не развиваются. В настоящем сообщении излагаются результаты опытов пересадками сердечно-мышечной ткани.

Было сделано две серии пересадок измельченной сердечно-мышечной ткани взрослого кролика и две серии пересадок измельченной сердечно-мышечной ткани кур — 1½-месячного цыпленка и 6-месячного петуха — на место полностью удаленной двуглавой мышцы 1½- и 4-месячных цыплят. Всего было сделано 20 пересадок. Измельчение производилось ножницами до состояния фарша. Фиксация трансплантатов производилась начиная с третьего дня после операции. Материал подвергался обычной гистологической обработке (фиксация в 4% формалине или жидком Гелли, окраска железным гематоксилином и азаном по Гейденгайну, реакция на тимонуклеиновую кислоту по Фейльгену).

Вскрытие регенерата на третий день после операции обнаруживает модель мышцы, сходную по форме с удаленной мышцей. Она расширена проксимальной части, где происходит ее соединение с широким сухожилием, перекинутым через эпифиз плечевой кости, и суживается в ди-

стальной части, где регенерат связывается с остатком сухожилия на локтевой кости. Новообразованный зачаток органа состоит из мясо-красной ткани полужидкой консистенции, в которой вкраплены разбухшие кусочки измельченной сердечно-мышечной ткани.

В последующие дни развития кровяно-красный цвет регенерата постепенно меняется розовато-желтым и желтовато-белым, консистенция становится более плотной, ткань приобретает волокнистое строение. В начале второго



Рис. 1. Развитие клеток в трансплантате измельченной сердечно-мышечной ткани кролика на место удаленной двуглавой мышцы плеча цыпленка на третий день после операции. 1 — зона новообразования, 2 — пузырьчатые клетки, 3 — веретеновидные клетки, 4 — митоз веретеновидной клетки



Рис. 2. Веретеновидная и пузырьчатая клетки из зоны новообразования

недели в трансплантате начинает преобладать лимфоидная ткань, развивающаяся в результате реакции организма на чужеродный белок. Трансплантат становится дряблым, рыхлым, развивающийся пересаженный материал подвергается дегенерации и рассасыванию.

В микроструктуре регенерата, начиная с первых дней наблюдения обнаруживаются существенные изменения, ведущие к развитию из сер-

сердечно-мышечной ткани клеточных элементов типа миобластов. Эти изменения принципиально сходны в обоих объектах исследования. Ткань сердечной мышцы кур отличается от ткани сердечной мышцы кроликов при развитии в регенерате только по интенсивности процессов. Описание этих процессов и рисунки сделаны по материалам пересадок кроличьей сердечной-мышечной ткани, которая удобна для наблюдения вследствие крупных размеров структурных элементов.

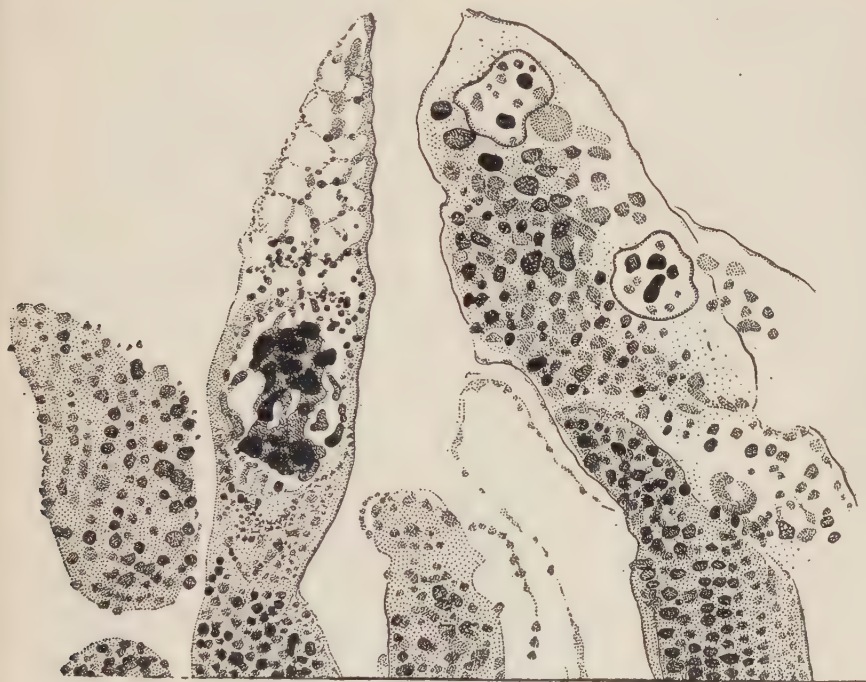


Рис. 3. Митоз новообразованной веретеновидной клетки

На третий день после операции на срезах регенерата обнаруживаются частички пересаженной ткани, связанные бесструктурным веществом, включающим в большом количестве форменные элементы крови. В частичках сердечно-мышечной ткани можно отметить следующие структурные изменения. Миофибриллы утолщены, в особенности по периферии трансплантата, где на поперечных разрезах мышечных волокон они приобретают вид крупных ребристых телец. Анизотропные диски выражены слабо. Более ясно заметны телофрагмы, на которых, главным образом, концентрируется хромофильное вещество. Следует отметить, что вставочные пластинки выражены вполне отчетливо, образуя довольно резко очерченные полосы на уровне телофрагм.

По периферии трансплантата в поверхностных слоях мышечных частей происходит развитие клеток. Здесь обнаруживается зона, в которой происходит распад мышечных волокон и развитие клеток (зона новообразования). В этой зоне мышечные волокна подвергаются глубоким изменениям. Набухшие, утолщенные миофибриллы распадаются на отдельные хромофильные зерна, которые в глубоких слоях зоны новообразования расположены четкообразно, а ближе к периферии беспорядочно рассыпаются в толще волокна (см. рис. 1).

От разрушающихся мышечных волокон отделяются клетки двух типов. Клетки первого типа имеют неправильно сфероидальную, клетки второго типа — вытянутую, веретеновидную форму (см. рис. 2). В клетках первого типа — 1—2 или несколько ядер овальной или округлой формы с круп-

ными ядрышками. Протоплазма сильно разжижена, о чем свидетельствует ее вакуолизация на фиксированных и окрашенных препаратах. Не вакуолизированным остается только небольшой участок протоплазмы около ядра. От клеток первого типа (пузырчатых) клетки второго типа (веретеновидные) отличаются вытянутым ядром с 2—3 ядрышками и более



Рис. 4. Миобласты в трансплантате измельченной сердечно-мышечной ткани на 6-й день после операции

плотной протоплазмой, в которой вакуоли располагаются параллельными рядами по вытянутой оси клетки. Между рядами вакуолей, возникающими, очевидно, в разжиженной протоплазме, располагаются тяжи уплотненной протоплазмы, зернисто-волокнутого строения.

Процесс развития из вещества мышечных волокон продолжается в течение первых 5—7 дней развития трансплантата. По периферии сохранившихся частиц сердечно-мышечной ткани происходит отделение округлых и веретеновидных клеток, превращение округлых клеток в веретеновидные и интенсивное размножение последних митотическим путем (рис. 3). В результате происходит накопление больших количеств веретеновидных клеток, подвергающихся дальнейшему превращению. Продуктом превращения веретеновидных клеток являются клетки еще более удлиненной формы, с плотной, слегка вакуолизированной протоплазмой, волокнутого строения, в которой между рядами вакуолей различимы отдельные волокна (рис. 4). Если эти волокна сократимы, т. е. представляют собой миофибриллы, то, очевидно, данные клетки следует считать миообластами. Новообразованные миообласты образуют широкие тяжи, идущие вдоль оси трансплантата. В некоторых случаях весь пересаженный материал к концу пер-

вой недели подвергается распаду с образованием клеток, которые составляют значительную часть трансплантата. Остальная часть заполнена лимфоидной тканью, развиваемой организмом цыпленка в ответ на внедрение чужеродного белка.

Открытие клеточной фазы развития сердечно-мышечного симпласта взрослых птиц и млекопитающих проливает новый свет на процессы роста, а также физиологической и репаративной регенерации сердца.

Институт морфологии животных
Академии наук СССР

Поступило
25 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Студитский, ДАН, 84, № 2 (1952). ² А. Н. Студитский, Арх. анат., гист. и эмбр., 30, № 4 (1953).

Н. Г. БЕРИМ

**ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СИНЕРГИЗМА ДДТ
И ФТОРИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА НАСЕКОМЫХ**

(Представлено академиком А. И. Опариным 22 II 1954)

Ранее проведенные исследования ⁽¹⁾ показали возможность преодоления устойчивости насекомых к действию ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтана) и ГХЦГ (гексахлорциклогексана) путем комбинирования этих инсектицидов с веществами, изменяющими активность ферментов, в частности липаз.

Так как инсектициды типа ДДТ и ГХЦГ вызывают нарушения функций нервной системы насекомых ⁽⁷⁾, представлялось вероятным получение более значительного синергетического эффекта при комбинировании их с веществами, изменяющими активность холинэстеразы — фермента, гидролизующего ацетилхолин.

Как показали исследования Х. С. Коштойнца ^(4, 5), веществом, вызывающим в первой фазе своего действия торможение холинэстеразы, является известный инсектицид фтористый натрий. Последний, кроме того, создает так называемый «флюоридный блок» углеводного обмена на фазе образования пировиноградной кислоты. Это ведет к прекращению образования веществ, ацетилирующих холин, и тем самым к полному или частичному блокированию синтеза ацетилхолина.

Блокируя синтез ацетилхолина и тормозя действие холинэстеразы, фтористый натрий вызывает нарушение нормальных процессов передачи нервного возбуждения. Ввиду этого прибавление фтористого натрия к ДДТ должно было, по нашему мнению, привести к усилению действия последнего на насекомых. Для проверки этого предположения были проведены соответствующие опыты.

Объектами исследования служили гусеницы 4 возраста непарного шелкопряда *Porthetria dispar* L. и гусеницы 5 возраста кольчатого шелкопряда *Malacosoma neustria* L., являющиеся серьезными вредителями защитных и плодовых насаждений.

Подопытные насекомые обрабатывались 5% дустом ДДТ, фтористым натрием и смесью 5% дуста ДДТ и фтористого натрия (1 : 1). Контролем служили необработанные насекомые. В дальнейшем проводилось определение смертности насекомых и скорости действия на них инсектицидов. Одновременно определялись физиологические и биохимические показатели: вес насекомых, содержание в них воды, жиров по методу Сокслета, редуцирующих сахаров по методу Иссекутца ⁽³⁾, пировиноградной кислоты бисульфитным методом ⁽⁶⁾, интенсивность дыхания насекомых и дыхательный коэффициент в микрореспирометре Баркрофта, активность холинэстеразы по количеству уксусной кислоты, выделявшейся при расщеплении ацетилхолина ⁽²⁾.

Результаты этих опытов представлены в табл. 1, 2.

Анализ данных табл. 1, 2 свидетельствует о несомненном синергизме ДДТ и фтористого натрия при действии на гусениц кольчатого и непар-

ного шелкопряда. Однако ввиду различной видовой и возрастной устойчивости насекомых к действию этих инсектицидов синергизм их проявляется различно. Это различие выражается, во-первых, в различной скорости действия препаратов на насекомых и различной смертности по-

Таблица 1

Сравнительная характеристика действия ДДТ, фтористого натрия и их смеси на гусениц 5 возраста кольчатого шелкопряда

Название препарата	Смертность через 24 часа в %	Уменьшение веса гусениц через 24 часа после обработки в %	Содержание в гусеницах через 24 часа после обработки				Интенсивность дыхания в мм ³ O ₂ на 1 г живого веса в 1 час		Дыхательный коэффициент	Активность холинэстеразы (выделено CH ₃ COOH мг на 1 г жив. веса в 1 час)	
			воды в %	жиров в % к сух. весу	редуцирующих сахаров в % к жив. весу	пировиноградной кислоты в % к жив. весу	через 3 часа	через 24 часа		через 1 часа	через 24 часа
Контроль	0	9,4	84,8	22,7	0,14	0,06	798	757	0,85	2,3	2,4
ДДТ	0	22,4	84,4	17,0	0,1	0,05	1080	778	0,53	1,5	2,94
Фтористый натрий	0	10,8	84,2	28,6	0,1	0,06	718	888	0,75	2,4	2,31
ДДТ + фтористый натрий	90	23,9	82,7	17,9	0,14	0,06	1092	670	0,36	2,4	0,37

следних. В опытах с менее устойчивыми гусеницами 4 возраста непарного шелкопряда полная их смертность наступает как при обработке ДДТ, так и при обработке смесью ДДТ и фтористого натрия, но скорость действия в последнем случае почти в 4 раза больше, чем в первом.

Таблица 2

Сравнительная характеристика действия ДДТ, фтористого натрия и их смеси на гусениц 4 возраста непарного шелкопряда

Название препарата	Смертность в %	Средняя скорость действия препарата на насекомых в час.	Уменьшение веса гусениц через 3 часа после обработки в %	Содержание в гусеницах через 3 часа после обработки				Интенсивность дыхания через 4 часа обработки в мм ³ O ₂ на 1 г жив. веса в 1 час	Дыхательн. коэффициент через 4 часа после обработки
				воды в %	жиров в % к сух. весу	редуцирующих сахаров в % к жив. весу	пировиноградной кислоты в % к жив. весу		
Контроль	0	—	2,1	88,3	11,6	0,55	0,079	712	0,86
ДДТ	100	26	3,7	88,8	11,1	0,6	0,044	1631	0,72—0,75
Фтористый натрий	17,4	53	3,3	87,9	12,5	0,6	0,071	1382	0,7
ДДТ + фтористый натрий	100	7	11	86,6	11,9	0,6	0,071	2676	0,4—0,5

В опытах с более устойчивыми гусеницами 5 возраста кольчатого шелкопряда гибель 90% насекомых была отмечена через 24 часа лишь после обработки их смесью ДДТ и фтористого натрия. В других вариантах насекомые не погибали. Различие в характере синергизма ДДТ и фтористого натрия выражается, во-вторых, в том, что при быстротечном действии смеси ДДТ и фтористого натрия на гусениц 4 возраста непарного шелкопряда изменение обмена веществ проявляется лишь в увеличении интенсивности дыхания насекомых, уменьшении их веса и содержания в них воды. Содержание жиров и редуцирующих сахаров в данном случае не уменьшается. В опытах с гусеницами 5 возраста кольчатого шелкопряда, где действие инсектицидов проявляется более медленно, на-

рушение обмена веществ более значительно. Более значительно уменьшение веса насекомых при уменьшении содержания в них не только воды, но и жиров. При этом сохраняется закономерность в нарушении обмена веществ по большинству показателей в том смысле, что оно проявляется более сильно при отравлении насекомых смесью ДДТ и фтористого натрия, менее значительно при отравлении ДДТ и почти не проявляется при отравлении фтористым натрием.

Сравнительный анализ данных, представленных в табл. 1 и 2, приводит, таким образом, к заключению, что гибель насекомых в описанных опытах могла наступить до того, как нарушение обмена веществ вызовет серьезное их истощение. Хотя результаты рассматриваемых опытов и не позволяют судить о блокирующем действии смеси ДДТ и фтористого натрия на углеводный обмен на фазе образования пировиноградной кислоты и тем самым предполагать нарушение процессов синтеза ацетилхолина, действие ее на холинэстеразу несомненно. Действие смеси ДДТ и фтористого натрия вызывает резкое снижение активности холинэстеразы сравнительно с контролем и отдельно взятыми препаратами, что ведет, повидимому, к полному или частичному прекращению гидролиза ацетилхолина, накоплению его в организме. Вызванное этим нарушение нормальных процессов передачи нервного возбуждения на мышцы является одной из причин нарушения газообмена, выражающегося сначала в повышении интенсивности дыхания, а затем в резком его снижении, а также в снижении дыхательного коэффициента.

Дальнейшие исследования синергизма ДДТ и фтористого натрия заключались в определении зависимости величины синергетического эффекта от содержания и соотношения компонентов в смеси. Результаты этих исследований представлены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 свидетельствует, во-первых, о возможности синергизма ДДТ и фтористого натрия при меньшем, чем в предыдущей серии опытов содержании действующих веществ в комбинированном препарате, во-вторых, о прямой зависимости синергетического эффекта от содержания в препарате фтористого натрия. Наиболее ощутимый эффект в этой серии опытов был получен при обработке насекомых дустом, содержащим 2,5% ДДТ и 15% фтористого натрия.

Из всех фтористых соединений наибольшее применение в борьбе с вредными насекомыми находит кремнефтористый натрий. Так как технический препарат кремнефтористого натрия содержит до 5% фтористого натрия, казалось целесообразным исследовать вопрос о синергизме ДДТ и кремнефтористого натрия. Результаты этого исследования, проведенного по описанной выше методике, представлены в табл. 4, анализ которой свидетельствует о наличии синергизма также между ДДТ и кремнефтористым натрием, хотя и менее резкого, чем у ДДТ и фтористого натрия. Физиологические же и биохимические показатели указывают на известную общность в характере процессов отравления в опытах с фтористым и кремнефтористым натрием. При действии смеси ДДТ и кремнефтористого натрия на гусениц 5 возраста кольчатого шелкопряда отме-

Таблица 3

Синергизм действия ДДТ и фтористого натрия на гусениц 4 возраста непарного шелкопряда при различных соотношениях компонентов в смеси

Название препарата	Содержание действующего вещества в дусте в %	Смертность насекомых через 68 час. в %	Скорость действия препарата в час.
Контроль . . .	—	0	0
ДДТ	2,5	100	45
Фтористый натрий . . .	2,5	0	—
	5,0	0	—
	10,0	15	45
	15,0	20	32
ДДТ + фтористый натрий	2,5—2,5	100	43
	2,5—5,0	100	42
	2,5—10,0	100	30
	2,5—15,0	100	25

Сравнительная характеристика действия ДДТ, кремнефтористого натрия и их смеси на гусениц 5 возраста кольчатого шелкопряда

Название препарата	Смертность через 24 часа в %	Скорость действия в часах	Уменьшение веса гусениц через 24 часа после обработки в %	Содержание в гусеницах через 24 часа после обработки				Интенсивность дыхания в мм ³ О ₂ на 1 г живого веса в 1 час		Дыхательный коэффициент	Активность холинэстеразы (выделение СО ₂ СООН на 1 г жив. веса в 1 час)	
				воды в %	жиров в % к сух. весу	редуц. сахаров в % к сух. весу	пировиноградной кислоты в % к жив. весу	через 3 часа	через 4 часа		через 1 час	через 24 часа
Контроль . . .	0	—	11,1	83,8	21,1	0,2	0,03	755	743	0,86	1,99	2,0
ДДТ	90	55	22,3	82,8	20,7	0,11	0,03	984	1226,4	0,75	3,19	2,49
Кремнефтористый натрий	0	—	11,6	84,2	21,3	0,1	0,02	823	780	0,7	3,04	2,04
ДДТ + кремнефтористый натрий (1 : 1)	100	51	25,9	82,3	20,9	0,04	0,03	1281	1481	0,66	0,66	2,12

чено более значительное уменьшение их веса при потере ими воды, жиров, сахаров и других веществ, чем при действии отдельно взятых препаратов. В этих опытах отмечено также изменение активности холинэстеразы, выражающееся в некоторой активизации ее при отравлении ДДТ и кремнефтористым натрием и резком торможении уже через час после обработки насекомых смесью этих инсектицидов. Смесь вызывает значительное уменьшение содержания в насекомых редуцирующих сахаров, но значительно менее ощутимое изменение в содержании пировиноградной кислоты. Это может служить косвенным подтверждением блокирующего влияния смеси на углеводный обмен на фазе образования пировиноградной кислоты и в дальнейшем — на синтез ацетилхолина. Торможение действия холинэстеразы и прекращение синтеза ацетилхолина ведет, естественно, к нарушению нормальных функций нервно-мышечной системы насекомых и является одной из причин нарушения процессов газообмена.

Синергизм ДДТ и кремнефтористого натрия может проявляться и при действии их смеси на гусениц 4 возраста непарного шелкопряда. Смертность гусениц при обработке их кремнефтористым натрием достигает 88% ДДТ 100% и при обработке смесью ДДТ и кремнефтористого натрия 100%. Скорость действия в первом случае равна 47 часам, во втором 59 часам, и в третьем 21 часу.

Установленные закономерности синергизма ДДТ и фтористых соединений могут явиться теоретическим обоснованием мероприятий по повышению эффективности применения этих инсектицидов в борьбе с вредными насекомыми.

Ленинградский сельскохозяйственный институт

Поступило
13 I 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Г. Берим, ДАН, **84**, № 2 (1952). ² С. Р. Зубкова и Т. В. Правдин-Неминская, Рефераты АН СССР, отд. биол. наук, 1945. ³ И. В. Кожанчиков, Экспериментально-экологические методы исследования в энтомологии, 1937. ⁴ Х. С. Коштоянц, ДАН, **19**, № 4 (1938). ⁵ Х. С. Коштоянц, Белковые телобмен веществ и нервная регуляция, Изд. АН СССР, 1951. ⁶ Н. П. Мешкова, С. Е. Северин, Практикум по биохимии животных (1950). ⁷ Л. В. Ягужинская, Мед. паразит. и паразит. болезни, № 5 (1948).

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Е. Д. ЛОГАЧЕВ

**РАЗВИТИЕ ДОРЗОВЕНТРАЛЬНЫХ СОКРАТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН
У ЛЕНТОЧНЫХ ГЕЛЬМИНТОВ**

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 9 II 1954)

Биологическое строение мускулатуры ленточных гельминтов привлекало внимание ряда зоологов и гельминтологов, занимавшихся изучением этих паразитических организмов. Во многих работах приводилось описание сократительных элементов, проходящих от спинной до брюшной поверхности проглоттид,— так называемых дорзовентральных мускульных волокон (¹). Как известно, эти образования состоят из сократительного волокна, к которому сбоку прилегает протоплазматическое тело, с ядром, известное под названием миобласта (²⁻⁶). Масса миобластов в половозрелых члениках обычно находится в центральной части мозговой паренхимы, образуя более или менее выраженный слой.

В настоящее время вопрос о развитии и строении сократительных элементов беспозвоночных и, в частности, цестод требует более детальной разработки, особенно после выхода в свет работы Г. И. Роскина и Е. С. Кирпичниковой (⁷). Эти авторы на основании наблюдений над строением и развитием мышечных волокон моллюска *Viviparus viviparus* пришли к заключению, что одним из существенных моментов в эволюции гладких мышечных клеток в ряду беспозвоночных является прогрессивное уменьшение трофической части (цитоплазмы и ядра) и увеличение сократительного аппарата; причем высокоспециализированные мышечные волокна являются вторично безъядерными неклеточными формами, совершающими свои специфические функции.

В настоящем исследовании мы поставили себе целью проследить онтогенетическое развитие дорзовентральных мускульных волокон у цестод. Для изучения были взяты два вида ленточных гельминтов, а именно: *Bothriocephalus punctatus* Rud. и *Taeniarrhynchus saginatus* Goeze. Первый гельминт является весьма распространенным паразитом черноморских камбал, у которых он встречается в большом количестве в тонком кишечнике и пилорических придатках. Гистологическому изучению подвергались серийные срезы проглоттид разных возрастов, начиная от шейки и кончая самыми зрелыми. У *B. punctatus* в области шейки слой мозговой паренхимы резко ограничен мощными пучками продольной мускулатуры и содержит большое количество соединительнотканнных (паренхиматозных) клеточных форм, большинство из которых является элементами амебоцитарной природы. Среди последних преобладают базофильные амебоциты (см. рис. 1 на вклейке к стр. 1181). Их цитоплазма интенсивно окрашивается основными красками, тогда как ядро всегда представляет светлый пузырек с темным ядрышком. В паренхиме шейной части у этой цестоды присутствует очень небольшое число десмобластов.

Все эти клеточные формы здесь разбросаны совершенно без какого-либо порядка. По мере удаления от шейки, уже в первых молодых чле-

никах можно наблюдать, как отдельные округлые амебоциты принимают более выраженную овальную, а затем веретеновидную форму. При этом их утончающиеся концы всегда ориентированы в дорзовентральном направлении. Эти веретеновидные элементы являются молодыми миобластами. В некоторых молодых члениках миобласты, располагаясь почти параллельно друг другу, выполняют довольно густо мозговой слой паренхимы (см. рис. 2). Цитоплазма молодых миобластов обнаруживает тонкозернистое строение, отчетливо выраженное при окрашивании эозиназуром. Ядра имеют сходство с таковыми амебоцитов, хотя у некоторых миобластов ядра не всегда отчетливо заметны; ядрышки в них выражены не так постоянно, как в ядрах амебоцитов. Тонкие удлинённые нити, тянущиеся от заостренных концов веретеновидного миобласта, окрашиваются оксифильно.

Таким образом, уже на ранних этапах гистогенеза дорзовентральных сократительных волокон можно усмотреть различие между телом миобласта, обнаруживающим всегда выраженную базофилию, и сократительной нитью, проявляющей оксифилию. Эта сократительная нить у молодых миобластов не кажется непрерывной — она как бы разделена телом миобласта. Сократительные нити, идущие в дорзовентральном направлении, пронизывают мощные слои продольной мускулатуры, проходят в корковый слой паренхимы, где ход большинства из них в молодых члениках проследить довольно трудно. В половозрелых члениках сократительные нити доходят до элементов субкутикулярного клеточного слоя и среди них оканчиваются подобно тому, как это описал Н. Зограф у некоторых лентецов⁽⁸⁾. Среди множества миобластов в молодых проглоттидах цестоды *V. punctatus* довольно часто можно встретить делящиеся миобласты, причем ясно видно, что здесь имеет место амитоз. В средней части веретенообразного тела таких миобластов имеются перетяжки разделяющие их тела как бы на две клетки также веретеновидной формы, но имеющие вдвое меньшие размеры. Нам ни разу не удавалось наблюдать кариокинетических фигур в миобластах.

На некоторых препаратах можно встретить миобласты, разделенные перетяжками на 3 или 4 фрагмента. Такие миобласты, несомненно, находятся в состоянии множественного линейного амитоза, описанного нами в клетках субкутикулярного слоя⁽⁹⁾.

Миобласты в молодых проглоттидах у цестоды *V. punctatus* имеют различную величину. Длина их тел колеблется в пределах 7,15—14,3 μ , ширина — 2,86—4,29 μ . По мере удаления проглоттид от шейки, т. е. по мере их старения, в миобластах имеет место дальнейшая дифференцировка. В них становится заметным постепенное разграничение между телом и уже более мощной сократительной нитью, причем тело миобласта оказывается прилежащим сбоку к нити.

На срезах половозрелых члеников у обеих исследованных цестод легко можно убедиться в том, что тела миобластов образуют более или менее выраженный слой в мозговой паренхиме (см. рис. 3). Дальнейшие изменения в миобластах демонстративно прослеживаются в половозрелых и зрелых члениках *T. saginatus*. Сидящие на сократительных нитях тела миобластов у этого гельминта в среднем имеют размеры: длина 22—23 μ , ширина 7,15 μ . Они резко отграничены от сократительных нитей (см. рис. 4 А). Их пузырьковидные ядра всегда имеют отчетливое ядрышко.

Наблюдая изменения дорзовентральных мускульных волокон по мере старения члеников, можно убедиться, что тела большинства миобластов отделяются от сократительной нити и превращаются в особые паренхиматозные клетки, проходящие также своеобразный путь дифференцировки. Дорзовентральные волокна, потерявшие протоплазматические тела миобластов, являются теперь неклеточными образованиями, выполняющими мускульную сократительную функцию.

Отделение тел миобластов от сократительного волокна проходит следующим образом. В том месте, где тело миобласта прилежит к волокну, появляется более светлый участок цитоплазмы, протягивающийся по всей длине тела. Этот просветленный участок цитоплазмы и является тем местом, по которому происходит разъединение тела миобласта и сократительного волокна (рис. 4 А, Б). Отделившееся тело миобласта отходит от волокна и по всем своим морфологическим признакам является тождественным диплазматическому десмобласту соединительной ткани (паренхимы) этого гельминта. Лишь несколько более крупные размеры от-

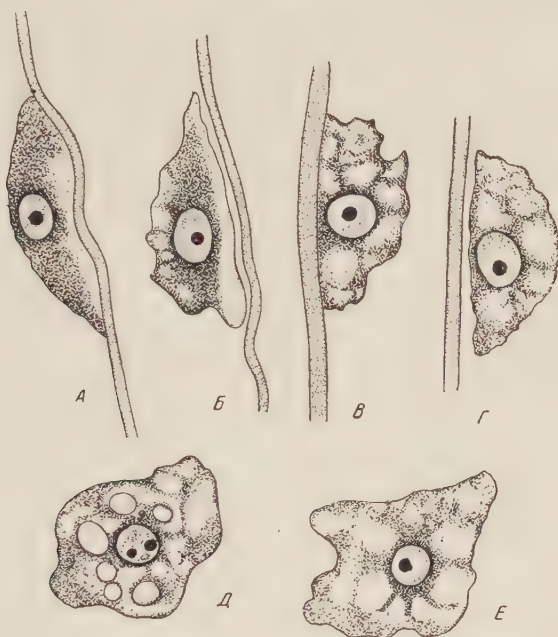


Рис. 4. Последовательные стадии превращения миобластов у *T. saginatus*. Окраска железным гематоксилином. $\times 1350$

личают его от собственных десмобластов паренхимы. Размеры таких десмоцитов 15,73—17,16 μ . Ядра их видимых изменений не обнаруживают. Такие десмобласты постепенно деградируют в основном веществе, подобно тому как это происходит вообще с десмоцитами паренхимы цестод⁽¹⁰⁾.

В других случаях в теле миобласта до его отделения появляются крупные светлые пузырьковидные вакуоли, заполненные гомогенным содержимым. Лишь вокруг ядра и в небольших прослойках между этими вакуолями цитоплазма сохраняет свой первоначальный характер (рис. 4 В). Образовавшаяся после отделения клетка сохраняет эти вакуоли и имеет вид дифференцированного десмобласта (рис. 4 Г). Часто тело миобласта еще до отделения от сократительного волокна проявляет выраженные признаки дегенерации и распада. В зрелых члениках *T. saginatus* в мозговом слое паренхимы можно видеть довольно часто вакуолизированные крупные клетки (рис. 4, Д, Е), возникшие, несомненно, из отделившихся тел миобластов. Они постепенно дегенерируют и от них остаются иногда лишь одни голые ядра.

Наблюдая различные картины дегенерации и распада, нельзя не усмотреть в этом своеобразный процесс выработки тканевой жидкости, заполняющей все пространства в паренхиме цестод. Таким образом, можно придти к выводу, что дорзовентральное мускульное волокно, возникая за счет соединительнотканых амебоцитов, к концу своего развития

расщепляется на неклеточную часть, выполняющую свою специфическую сократительную функцию, и на соединительнотканную клетку — десмобласт или десмоцит, возникающую только из тела миобласта. Дорзовентральные мускульные волокна цестод должны быть отнесены к особой группе миопаренхиматозных или миодесмальных элементов, подобно тому как выделяются миоэпителиальные элементы у других беспозвоночных.

Поступило
7 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Braun, Bronn's Klassen u. Ordnungen des Thierreichs, 4 (1894—1900).
² E. Zernecke, Zool. Jahrb., 9, 1 (1895). ³ R. Meyner, Zs. f. Naturwissensch., 68 (1895). ⁴ E. Lönnberg, Kongliga svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 24, 16 (1892). ⁵ F. Kiessling, Arch. f. Naturgesch., 48. Jahrg. (1882). ⁶ Г. Гофман, Руководство к практическим занятиям по сравнительной гистологии, 1937.
⁷ Г. И. Роскин, Е. С. Кирпичникова, Изв. АН СССР, сер. биол., 6 (1952).
⁸ Н. Зограф, Congrès internat. de Zoologie à Moscou, 2, 1893. ⁹ Е. Д. Логачев, ДАН, 82, № 1 (1952). ¹⁰ Е. Д. Логачев, ДАН, 83, № 2 (1952).

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

К. М. РЫЖИКОВ и Ю. Б. ДИЗЕР

К БИОЛОГИИ СКРЕБНЕЙ *MACRACANTHORHYNCHUS CATULINUS*
и *MEDIORHYNCHUS MICRACANTHUS*

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 17 II 1954)

В 1952—1953 гг. в районах Кара-Кумов, прилежащих к рекам Аму-Дарья и Мургаб, работала 289 Союзная гельминтологическая экспедиция, организованная Гельминтологической лабораторией Академии наук СССР. Экспедицией исследовались, помимо позвоночных животных, также и беспозвоночные. В числе последних гельминтологическому вскрытию подвергались главным образом жуки из семейства чернотелок (*Tenebrionidae*), весьма характерные для пустынных мест. В материале, собранном от жуков указанного семейства, оказались личиночные формы скребней двух видов: *Macracanthorhynchus catulinus* и *Mediorhynchus micracanthus*.

Обнаружение личинок этих видов скребней у жуков представляет интерес в связи с расшифровкой биологических циклов названных паразитов. Этот вопрос мы и рассматриваем ниже в отношении каждого из видов скребней. Одновременно приводим анатомо-морфологическую характеристику найденных личинок.

1. *Macracanthorhynchus catulinus* Kostylew, 1927

Найдена одна личинка в полости тела *Adesmia gebleri* Mén (№ 7; 8 XI 1952 г.; окрестности гор. Иолотани, Марийской области, Туркменской ССР; межбарханная впадина с твердой глинистой почвой).

Всего жуков этого вида было вскрыто 56 экз. Личинка была заключена в цисту. Длина личинки 6,32 мм, максимальная ширина 0,72 мм. Хоботок имеет длину 0,57 мм и такую же ширину. На хоботке 12 продольных рядов крючьев, в каждом ряду по 3 крючка. Крючья первого ряда крупнее, чем следующие. Длина крючьев в первом ряду 0,25 мм, в последнем — 0,11 мм. Из внутренних органов хорошо различимы в задней части тела зачатки цементных желез. На передней части хоботка имеются шесть четко обозначенных правильной округлой формы клеток, видимо,



Рис. 1. Личинка *Macracanthorhynchus catulinus* из полости тела жука-чернотелки *Adesmia gebleri* Mén. Складка у головного конца образована стенкой цисты

железистого характера. Такие же клетки, несколько более светлые, разбросаны и в паренхиме тела.

В отношении биологии этого вида скребня известно следующее. Взрослые формы червя паразитируют в кишечнике лисиц. Личинок, морфологически идентичных описываемой нами, В. Б. Дубинин (1) находил

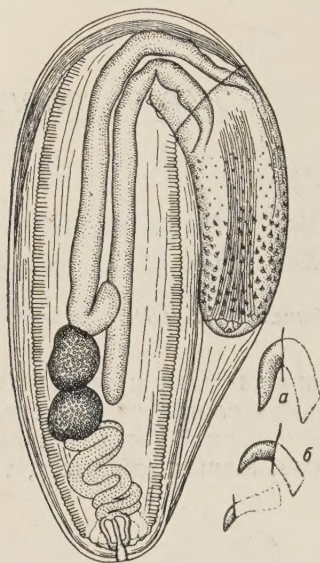


Рис. 2. Личинка *Mediorhynchus micracanthus* из полости тела жука-чернотелки *Adesmia gebleri* Mén

в мышцах, иногда в полости тела барсука, ласки, хорька, сурка, даурского суслика и даурского ежа. Личинки также были найдены в мышцах и брыжейке корсаков, которые одновременно являются дефинитивными хозяевами этого паразита. Дубинин скормил найденных им личинок двум молодым корсакам. В обоих случаях в кишечнике подопытных животных развились половозрелые скребни. Дубинин считает, что перечисленные выше млекопитающие, у которых были найдены личинки *M. catulinus*, в цикле развития паразита выполняют роль второго промежуточного хозяина; первым промежуточным хозяином, по его предположению, должно являться какое-то насекомое. Нахождение личинки в теле жука-чернотелки *Adesmia gebleri* Mén это предположение подтверждается.

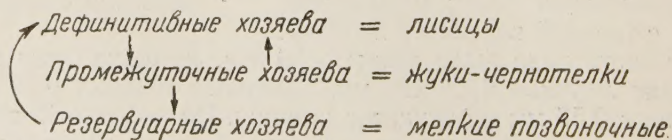
Несомненно, что *Adesmia gebleri* Mén является промежуточным хозяином *M. catulinus*. Эту роль могут выполнять, видимо, и другие виды чернотелок, филогенетически и экологически близкие к *A. gebleri* Mén.

Что же касается роли мелких млекопитающих (носителей личинок) в биологическом цикле *M. catulinus*, то в этом отношении мы не согласны с Дубининым рассматривающим их как вторых промежуточных (= дополнительных) хозяев.

Эти животные должны трактоваться как резервуарные хозяева, т. е. такие, участие которых не является обязательным для полного завершения онтогенеза *M. catulinus*.

В пользу именно такой оценки роли мелких млекопитающих в биологическом цикле *M. catulinus* говорит следующее. 1) Личинки, полученные из их тела, морфологически идентичны личинкам из тела промежуточного хозяина. Следовательно, в организме млекопитающих личинка не претерпевала развития, связанного с переходом ее в другую стадию онтогенеза. 2) Развитие *Macracanthorhynchus hirundinaceus*, формы очень близкой к *M. catulinus*, протекает с участием только одного промежуточного хозяина. Следовательно, по аналогии, в биологическом цикле *M. catulinus* исключается второй промежуточный хозяин.

Таким образом, в нашем представлении смена хозяев в биологическом цикле *M. catulinus* протекает по следующей схеме:



2. *Mediorhynchus micracanthus* (Rudolphi, 1819)

Найдены две личинки в полости тела жука того же вида, что и в первом случае, т. е. *Adesmia gebleri* Mén (№ 53; 11 XI 1952; окрестности гор. Иолотани; межбарханные глинистые впадины).

Как и в первом случае, личинки были заключены в цисты. Размеры цист: длина 1,53 мм, ширина 0,72 мм. Длина тела личинки 2,48—2,59 мм, максимальная ширина 0,54—0,61 мм, длина хоботка 0,55—0,67 мм, ширина у основания 0,27—0,32 мм. Основную часть хоботка покрывают шипики, верхушечную — крючки. Шипики располагаются в 24 или 28 продольных рядов с 5—6 шипиками в каждом. Крючки также располагаются в 24—28 продольных рядов с 10—12 крючками в каждом ряду. Как шипики, так и крючья не образуют строго правильных рядов, что затрудняет точный их подсчет. Размеры крючьев неодинаковые: наиболее крупные на верхушке хоботка (0,065 мм), к основанию хоботка они уменьшаются (0,038 мм).

В личинках хорошо различимы лемниски, семенники (оба экземпляра — самцы), недостаточно четко дифференцированные цементные железы и клоака. Лемниски прикрепляются у основания хоботка и тянутся кзади за середину тела.

Взрослые скребни этого вида паразитируют главным образом у воробьиных птиц различных видов. В материале экспедиции имеется один экземпляр половозрелого *M. micracanthus* (определен В. И. Петровичем), найденного в кишечнике испанского воробья (*Passer hispaniolensis*) в той же местности, где найдены и личинки. В отношении биологии этого вида ничего не известно, как не известно, судя по литературным данным, и о биологии других видов рода *Mediorhynchus*.

Находка личинок *M. micracanthus* в теле *Adesmia gebleri* Mén, дает основание предполагать, что жуки-чернотелки являются промежуточными хозяевами этого вида скребня.

Большую помощь в определении личинок скребней нам оказал В. И. Петрович, за что выражаем ему благодарность.

Гельминтологическая лаборатория
Академии наук СССР

Поступило
7 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Б. Дубинин, ДАН, 60, № 6, 1109 (1948).

